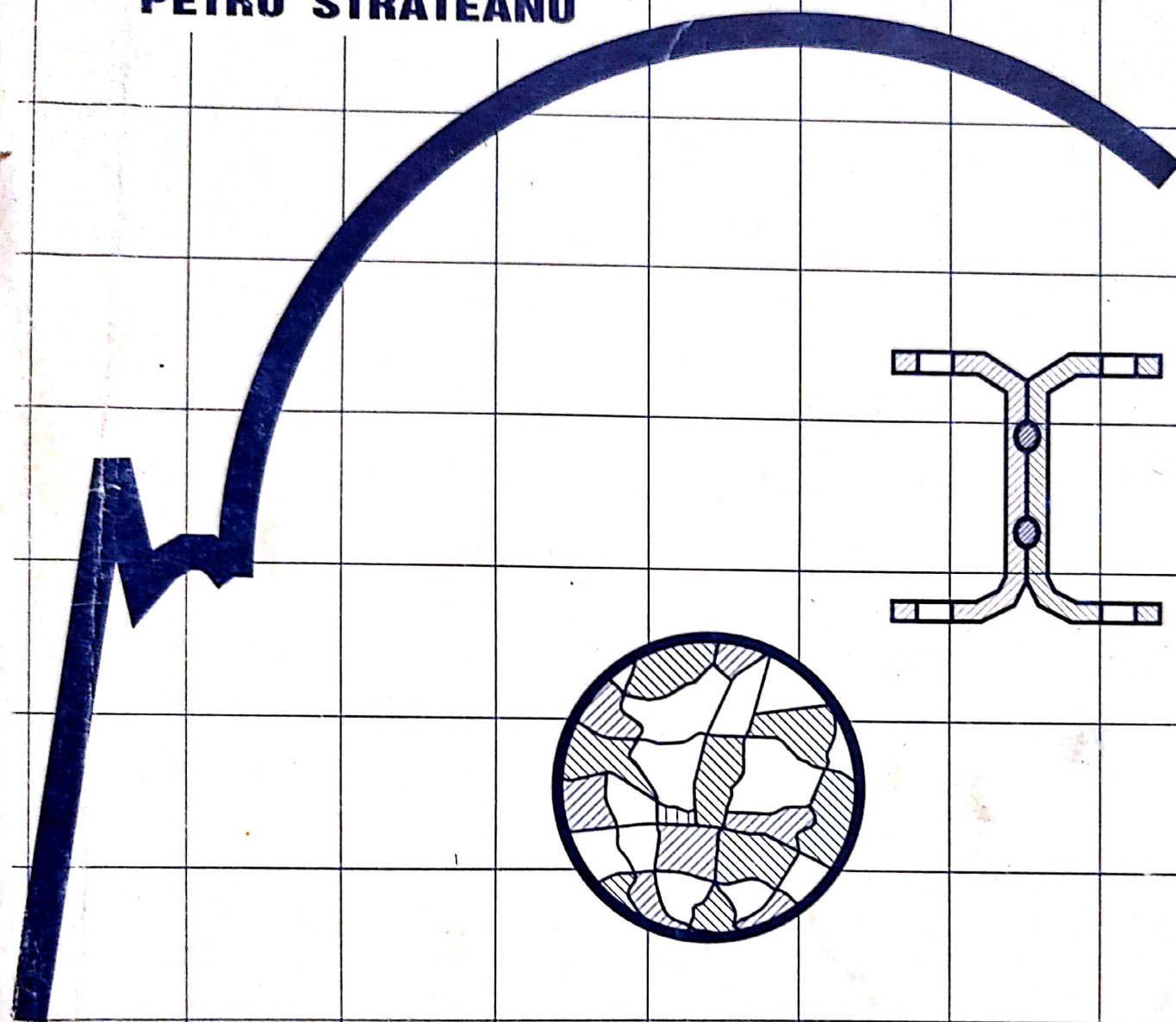


**ELENA AXINTE
VASILE PESCARU
VICTORIA ROȘCA
PETRU STRĂTEANU**



CONSTRUCȚII METALICE ÎNCERCĂRI

Elena AXINTE
Vasile PESCARU
Victoria ROȘCA
Petru STRĂTEANU

Liliana Asandei
Iasi, 10.99

CONSTRUCȚII METALICE **ÎNCERCĂRI**

Iasi 1998



Consilier editorial:

Prof. dr. ing. Mihai Budescu

Contribuiția autorilor, în ordine alfabetică :

Prof. dr. ing. Elena AXINTE – cap. 2, 3, 4, 5, 7 (fără 7.4), coordonarea și
tehoredactarea lucrării (fără cap. 1).

Prof. dr. ing. Vasile PESCARU – cap. 1

Prep.ing. Victoria ROȘCA – cap. 7 (7.4.1 ; 7.4.2), procesarea text și grafică
ACAD

Șef lucrări dr. ing. Petru STRĂTEANU – cap. 6, 7 (7.4.3)

Grafica : Carmen NECHITA

Coperta : Victoria ROȘCA



ISBN 973-96589-7-0

PREFAȚĂ

Stabilirea caracteristicilor fizico-mecanice ale oțelurilor din care se execută construcțiile metalice se bazează pe experimentări realizate în laboratoare de specialitate.

Utilitatea acestor încercări este evidentă în cazul consolidărilor sau expertizării tehnice a structurilor metalice supuse unor solicitări de serviciu tot mai severe, pentru care nu există date suficiente referitoare la materialele utilizate. Deasemenea, lansarea pe piață a unor materiale și elemente noi destinate construcțiilor metalice nu este posibilă fără cunoașterea încercărilor de bază pentru determinarea caracteristicilor stipulate de normativele tehnice.

Lucrarea de față cuprinde încercări curente pentru atestarea proprietăților oțelurilor și îmbinărilor sudate necesare încadrării acestora în clase de calitate. Astfel, sunt prezentate analiza metalografică a oțelului, încercări mecanice cu caracter static și dinamic, încercări tehnologice, încercări la coroziune, controlul calității îmbinărilor sudate.

Autorii au considerat necesară semnalarea prevederilor normei europene "EUROCODE 3- Calculul elementelor din oțel", referitoare la alegerea calității oțelurilor pentru construcții, stabilirea rezistenței la oboseală, utilizarea notațiilor pentru rezistențele oțelului definite pe curba caracteristică obținută prin încercarea la tracțiune.

Lucrarea este utilă inginerilor și personalului auxiliar din domeniul controlului calității elementelor și structurilor metalice precum și studenților de la Facultatea de Construcții pentru desfășurarea lucrărilor practice prevăzute la disciplina de Construcții metalice.

Autorii mulțumesc prof. dr. ing. Alexandru SECU pentru recenzarea lucrării.

Exprimăm mulțumiri domnului Marin CIBOTARU, S.C. COMPUTER HOUSE S.R.L., S.C. DAR D.C. COM S.R.L., S.C. NENA S.A. și Editurii VESPER care au sprijinit apariția acestei lucrări.

Autorii

CUPRINS

1. NOȚIUNI DE METALOGRAFIE. STRUCTURA CRISTALINĂ A OȚELURILOR	
1.1. Generalități despre aliaje.	5
1.2. Stările alotropice ale fierului.	6
1.3. Constituenții oțelurilor.	7
1.4. Solidificarea oțelurilor. Formarea grăunților cristalini. ...	8
1.5. Analiza metalografică a oțelurilor.	11
1.6. Descrierea microscopului.	13
1.7. Probele metalografice.	16
1.8. Succesiunea operațiilor la microscop.	17
2. ALEGEREA CALITĂȚII OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII METALICE	20
3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR	
3.1. Încercarea la tracțiune.	29
3.1.1. Încercarea la tracțiune a oțelului.	29
3.1.1.1. Pincipiul încercării. Diagrama caracteristică.	29
3.1.1.2. Epruvete pentru încercarea la tracțiune. ...	31
3.1.1.3. Dimensiunile epruvetelor.	35
3.1.1.4. Determinarea ariei secțiunii inițiale (So). ...	37
3.1.1.5. Condiții de execuție a încercării la tracțiune	38

3.1.1.6. Determinarea caracteristicilor mecanice ale oțelului	42
3.1.1.7. Metodologia de determinare a caracteristicilor garantate de marcă privind încercarea la tracțiune	47
3.1.2. Încercarea la tracțiune a cablurilor de oțel.	49
3.1.2.1. Epruvete pentru încercare.	49
3.1.2.2. Executarea încercării prin ruperea cablului întreg	52
3.2. Încercări pentru determinarea tenacității oțelului.	53
X 3.2.1. Încercarea de încovoiere prin șoc	53
3.2.1.1. Generalități.	53
3.2.1.2. Epruvete pentru încercare.	54
3.2.1.3. Utilajul folosit pentru executarea încercării.	57
3.2.1.4. Executarea încercării.	59
3.2.2. Încercarea de încovoiere prin șoc după îmbătrânire artificială.	63
X 3.3. Încercarea durității prin metoda Brinell.	66
3.3.1. Generalități.	66
3.3.2. Principiul încercării.	66
3.3.3. Descrierea aparatului de încercare Brinell.	71
3.3.4. Mijloace de măsurare a diametrelor urmelor.	72
3.3.5. Executarea încercării pe aparatul din figura 3.22.	73
3.3.6. Rezultatele încercării.	74

4. ÎNCERCAREA METALELOR LA SOLICITĂRI

VARIABLE. FENOMENUL DE OBOSEALĂ

4.1. Distrugerea prin oboseală a metalelor.	75
4.2. Parametri principali care influențează rezistența la oboseală a elementelor metalice.	76
4.3. Mecanismul ruperii la oboseală.	77

4.4. Curba de rezistență la oboseală după EUROCODE 3.	79
4.5. Verificarea la oboseală.	81
4.6. Încercarea la oboseală prin încovoierea rotativă.	88
4.6.1. Epruvete pentru încercare.	88
4.6.2. Aparatura pentru încercare.	90
4.6.3. Executarea încercării.	93

5. ÎNCERCĂRI TEHNOLOGICE

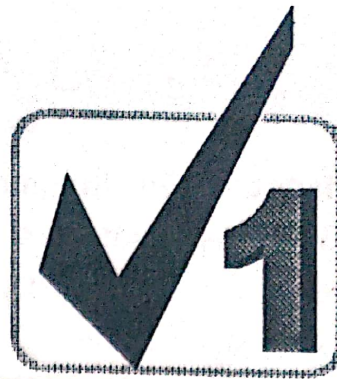
5.1. Încercarea de îndoire.	95
5.2. Încercarea de refulare.	97
5.3. Încercări de defromabilitate la rece a țevelor.	98
5.3.1. Încercarea de îndoire a tronsonului.	98
5.3.2. Încercarea de aplatizare.	99
5.3.3. Încercarea la lărgire.	100
5.3.4. Încercarea la răsfrângere.	101

* 6. ÎNCERCĂRI PRIVIND COROZIUNEA METALELOR

6.1. Generalități.	103
6.2. Metode de evaluare a coroziunii.	104
6.2.1. Metode calitative.	105
6.2.2. Metode cantitative.	105
6.3. Agenți agresivi utilizați la încercările de laborator.	107
6.4. Tipuri de probe.	107
6.5. Încercări în condiții de laborator folosind camere cu ceață corosivă	109
6.5.1. Determinarea eficacității sistemelor de protecție anticorosivă cu ajutorul Instalației universale de încercare la coroziune.	109
6.5.1.1. Modul de lucru.	112
6.5.2. Determinarea eficacității sistemelor de protecție anticorosivă cu ajutorul Instalației cu ceață salină. ...	113

7. ÎNCERCĂRI ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE

7.1. Tipuri de îmbinări sudate.	120
7.1.1. Materiale pentru îmbinări sudate.	120
7.1.2. Clasificarea îmbinărilor sudate.	129
7.2. Procedee de sudare.	133
7.3. Încercări mecanice ale îmbinărilor sudate.	140
7.3.1. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate cap la cap.	140
7.3.2. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate de colț. ...	143
7.3.3. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate în puncte și în relief ale metalelor.	146
7.3.4. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor din table subțiri sudate în colț.	147
7.3.5. Încercarea la încovoiere prin șoc a îmbinărilor sudate cap la cap.	149
7.4. Controlul îmbinărilor sudate.	152
7.4.1. Examinarea îmbinărilor sudate prin topire cu ultrasunete.	152
7.4.1.1. Principiul metodei de control cu ultrasunete.	152
7.4.1.2. Tehnica de control cu ultrasunete.	154
7.4.2. Controlul cu radiații penetrante a îmbinărilor sudate prin topire.	158
7.4.2.1. Principiul metodei de radiografiere.	159
7.4.3. Controlul îmbinărilor sudate cu lichide penetrante. ...	162
7.4.3.1. Principiul metodei de control.	163
7.4.3.2. Caracteristicile materialelor utilizate.	164
7.4.3.3. Tehnologia controlului cu lichide penetrante.	166
BIBLIOGRAFIE	170



NOȚIUNI DE METALOGRAFIE. ✱ STRUCTURA CRISTALINĂ A OȚELURILOR

1.1. GENERALITĂȚI DESPRE ALIAJE

Aliajele (printre care se numără fontele și oțelurile) sunt materiale fabricate prin introducerea într-un metal, de regulă pe cale termică, a unui sau mai multor elemente chimice pentru a-i îmbunătăți proprietățile.

Metalul de bază și elementele adăugate se numesc **constituenții aliajului**, care pot fi de 3 tipuri:

- soluție solidă, când constituentul de bază dizolvă ceilalți constituenți;
- compus chimic definit, când constituenții reacționează chimic, rezultând un material cu alte proprietăți fizice și chimice față de constituenți;
- amestec mecanic, când constituenții nu se dizolvă reciproc și nici nu reacționează chimic, ci se prezintă sub formă de policristale ale constituentului de bază, alternând omogen cu macroparticule ale

celorlalți constituenți; amestecul mecanic solidificat din aliajul lichid la o anumită temperatură și o anumită concentrație se numește **eutectic**; amestecul mecanic rezultat din soluția solidă prin separarea simultană a doi sau mai multor constituenți, la o anumită temperatură și concentrație, se numește **eutectoid**.

1.2. STĂRILE ALOTROPICE ALE FIERULUI

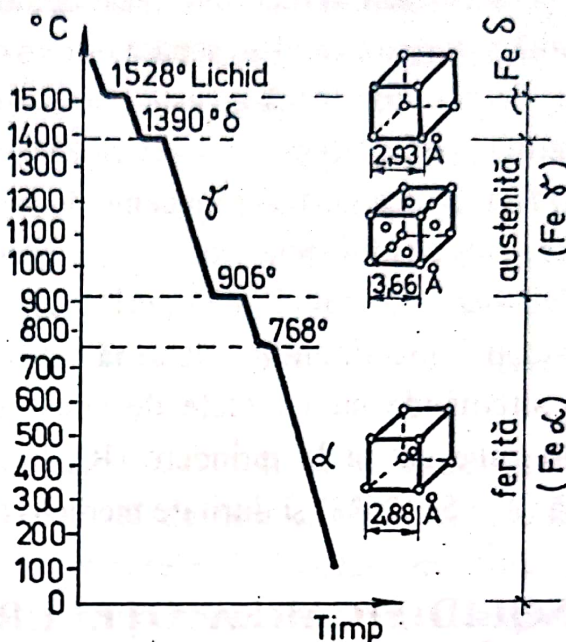
Fierul, principalul constituent al oțelurilor și al fontelor, prezintă stări alotropice, în funcție de temperatură (fig.1.1). La temperatura normală celulele cristaline ale fierului au forma cubică cu volum centrat (c.v.c.). Această stare alotropică, denumită fier α sau **ferită**, este stabilă până la 912°C , este magnetică sub 768°C și dizolvă C în proporții reduse ($<0,008\%\text{C}$ la temperatura normală și $0,04\%\text{C}$ la 721°C). Ea dizolvă de asemenea Mn, Si, Cr, P. Ferita pură are rezistențe reduse ($R_e = 12\text{ kN/cm}^2$, $R_m = 30\text{ kN/cm}^2$), este moale (duritate Brinell HB = 80) și plastică (alungirea la rupere $A = 50\%$, gătuirea la rupere $Z = 80\%$).

Între 912°C și 1394°C fierul își modifică rețeaua cristalină, celula de bază devenind cubică cu fețe centrate (c.f.c., v. fig. 1.1). Această stare alotropică se numește fier γ sau **austenită**. Ea dizolvă în proporții mult mai mari carbonul (până la $2,1\%\text{C}$) și alte elemente de aliere, datorită golurilor mai mari și mai numeroase dintre atomii rețelei cristaline c.f.c. în raport cu rețeaua c.v.c. Stabilă numai la temperaturi înalte în stare pură, austenita poate fi stabilizată prin aliere cu Mn, Ni sau/și cu alte elemente. Austenita stabilizată are proprietăți mecanice deosebite: rezistență mare ($R_m = 100\text{ kN/cm}^2$), ductilitate mare ($A = 50\%$), duritate relativ mare (HB = 200...250), rezistență la coroziune. Nu este magnetică.

La temperaturi peste 1394°C fierul γ se transformă în fier δ cu celula cristalină c.v.c.

Starea alotropică Fe δ este stabilă până la temperatura de topire 1538°C și nu poate dizolva mult C (maximum 0,1%) și nici alte elemente de aliere în cantități mari, din cauza golurilor mici caracteristice stării cristaline c.v.c.

Fig. 1.1. Curba de cristalizare a fierului la răcire



1.3. CONSTITUENȚII OȚELURILOR

Constituentul de bază al oțelurilor este **fierul**, iar **carbonul** este principalul element de aliere. Ele formează împreună toate cele trei tipuri de aliaje. Așa cum s-a arătat deja Fe în stare austenitică dizolvă C până la 2,1%, formând soluții solide de înlocuire sau de pătrundere. Fe α și Fe δ pot dizolva cantități foarte mici de C.

Fe se combină chimic cu C formând compusul chimic Fe_3C , denumit **carbură de fier** sau **cementită**. Ea conține 6,67% C, are punctul de topire 1550°C, este magnetică la temperaturi sub 213°C, este foarte fragilă la tracțiune ($R_{m,t} = 4 \text{ kN/cm}^2$, $A = 1\%$), dar este foarte rezistentă la compresiune ($R_{m,c} = 100 \text{ kN/cm}^2$) și foarte dură ($\text{HB} = 800$). Cementita este solubilă în Fe α la temperaturi ridicate, în Fe γ și în Fe δ , dar poate dizolva și ea elemente de aliere ca: Mn, Si, Cr, Mo, V etc. Cementita se numește primară

când se formează direct din faza lichidă, secundară când se separă din austenită și terțiară când se separă din $\text{Fe } \alpha$.

Fe și C formează amestec mecanic, dar nu direct ci prin intermediul cementitei: șase părți de $\text{Fe } \alpha$ (circa 88% în greutate) și o parte de cementită (12%) formează amestecul mecanic denumit **perlita**. Perlita conține 0,78%C și este eutectoidul aliajelor Fe-C. Denumirea îi vine de la imaginea asemănătoare cochiliei de perlă ce apare la studierea probelor la microscopul metalografic, datorită difracției luminii printre lamelele de ferită alternând cu lamelele de cementită. Perlita este rezistentă atât la compresiune cât și la întindere ($R_m = 70 \text{ kN/cm}^2$), are ductilitate relativ redusă ($A = 5 \dots 20\%$) și duritate medie ($HB = 160 \dots 260$).

1.4. SOLIDIFICAREA OȚELURILOR. FORMAREA GRĂUNȚILOR CRISTALINI

În figura 1.2 este explicată formarea grăunților cristalini primari.

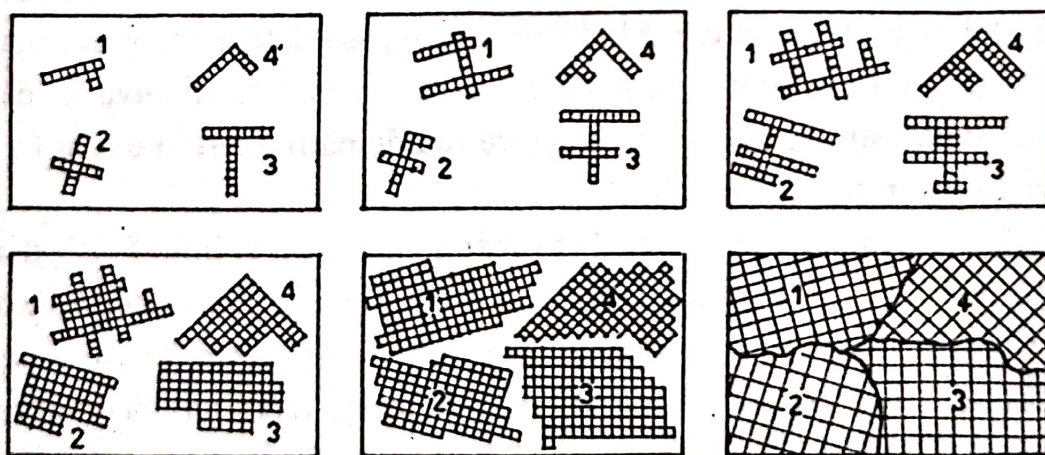


Fig. 1.2. Reprezentarea schematică a solidificării unui metal topit: a...f-fazele solidificării: 1...4-centre de solidificare.

În diferite puncte ale masei de oțel lichid, de regulă în jurul elementelor chimice folositoare (C, Mn, Si, Al, Ca, Cr, etc.) sau dăunătoare (P, S, N, etc.), denumite **centre de cristalizare**, notate 1...4 în figura 1.3, se formează primele celule cristaline, cu fețele orientate întâmplător, de la un centru la altul. Pe măsură ce lichidul se răcește, primelor celule cristaline li se adaugă altele cu aceeași orientare și se formează noi centre de cristalizare. Ansamblul de celule cristaline cu aceeași orientare, aglomerate într-un centru de cristalizare la terminarea solidificării, constituie un **policristal (grăunte cristalin)** primar.

Un oțel are proprietăți mecanice cu atât mai bune cu cât dimensiunile grăunților săi sunt mai mici și de aceeași mărime. Grăunții primari sunt cu atât mai mici cu cât centrele de cristalizare sunt mai numeroase. Numărul centrelor de cristalizare poate fi mărit prin adăugare de feroaliaje la prepararea oțelului.

Transformările fizice care au loc la fabricarea oțelurilor pot fi explicate pe **diagrama Fe – C** (fig.1.3).

Din soluția Fe–C lichidă cu $C < 2,1\%$, la o temperatură ce depinde de concentrația în C, se separă prin răcire primele cristale de soluție solidă Fe γ -C (austenită) sau de Fe δ -C, dacă $C < 0,1\%$, aceasta devenind apoi tot austenită. Prin răcire cristalele de austenită se transformă diferit, în funcție de procentul de C.

Astfel dacă austenita are concentrația de $0,85\% C$ (concentrație eutectoidă), ea se transformă toată în perlită la temperatura cea mai joasă, 721°C (punctul S pe diagrama Fe-C).

Pentru oțeluri hipoeutectoide ($C < 0,85\%$), din austenită se separă mai întâi cristale de ferită (Fe α) până când austenita rămasă capătă o concentrație de $0,85\% C$, aceasta transformându-se în perlită (curba GS din fig.1.3).

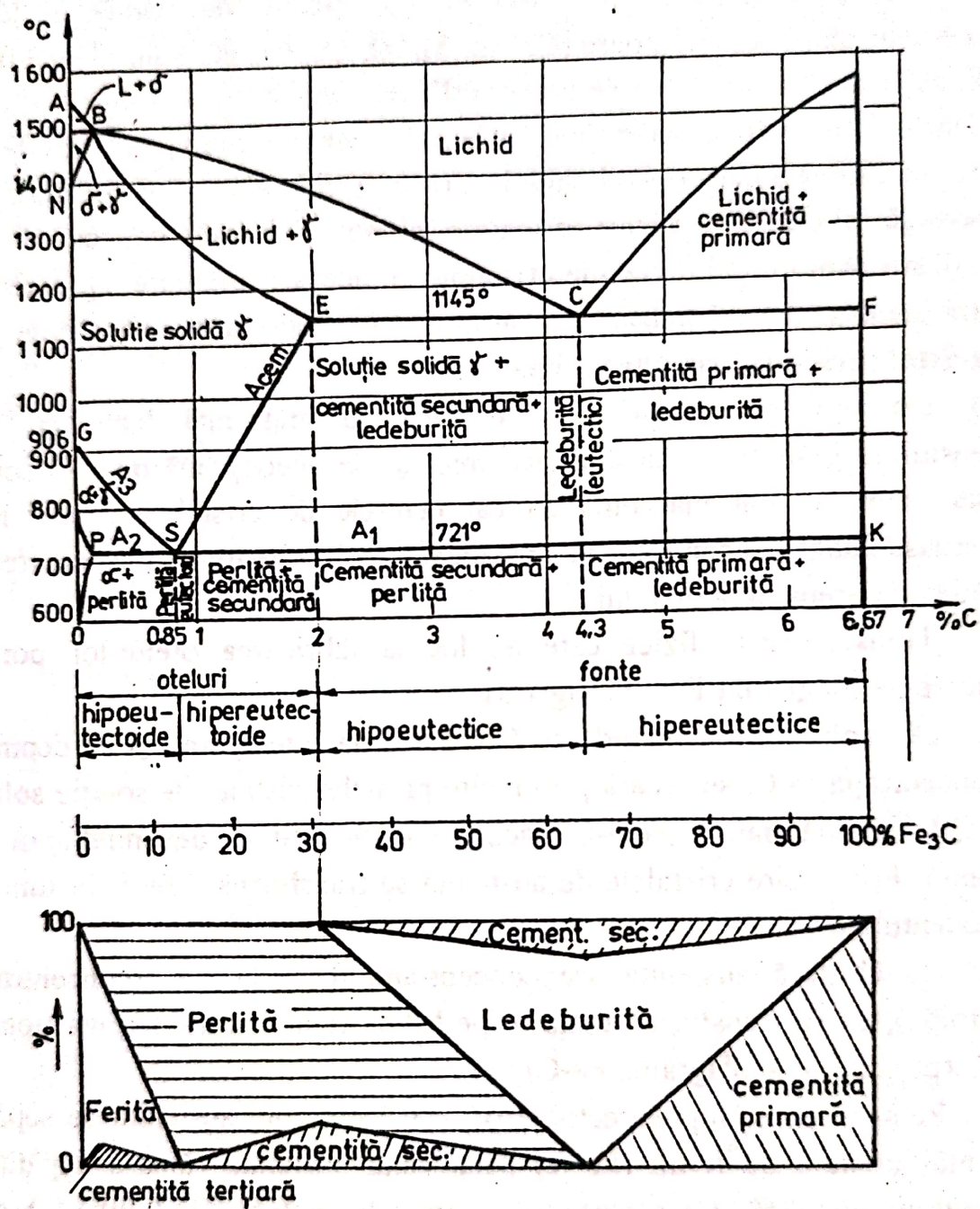


Fig.1.3. Diagrama Fier-Carbon

Pentru oțeluri hipereutectoide ($C > 0,85\%$, curba SE în diagrama Fe-C) se separă din austenită mai întâi cristale de cementită până ce austenita rămasă are o concentrație de $0,85\% C$, aceasta transformându-se în perlită.

Sub 721°C (temperatura eutectoidă) nu mai au loc transformări de constituenți, astfel că oțelurile hipoeutectoide ($< 0,85\% C$) conțin grăunți cristalini de ferită și de perlită, oțelurile eutectoide (cu $0,85\% C$) conțin grăunți numai de perlită, iar oțelurile hipereutectoide ($0,85\% < C < 2,1\%$) sunt constituite din grăunți de perlită și de cementită secundară.

Proprietățile mecanice ale oțelurilor depind de mărimea și de forma grăunților cristalini. Acestea depind de mărimea grăunților cristalini primari (formați din oțelul lichid) și de prelucrările termochimice sau/și termomecanice suferite ulterior de oțelul solidificat sub formă de piese.

1.5. ANALIZA METALOGRAFICĂ A OȚELURILOR

Analiza metalografică este o metodă de cercetare fizică constând în examinarea microscopică și macroscopică a suprafeței lustruite a unor probe extrase din piese de metal în scopul studierii structurii sale granulare.

Microstructura probelor se pune în evidență prin atacarea suprafețelor lustruite cu reactivi metalografici (soluții în apă sau în alcool ale unor substanțe chimice care atacă selectiv grăunții cristalini ai unor constituenți, neatacându-i pe ceilalți (STAS 4203-74).

Așa cum s-a arătat la punctul 1.4, grăunții oțelurilor hipoeutectoide au mijlocul format din ferită și învelișul din perlită, oțelurile eutectoide au grăunții constituiți numai din perlită, iar oțelurile hipereutectoide au mijlocul format din cementită și învelișul din perlită. Cu reactivi chimici care atacă numai ferita sau numai cementita se poate evidenția conturul

grăunților și aprecia natura constituenților, precum și mărimea și forma grăunților.

În figura 1.4 este prezentat principiul studierii structurii cristaline la **microscopul metalografic**. Suprafața foarte fin șlefuită până la luciu oglină a piesei de studiat și atacată apoi cu reactiv este iluminată perpendicular de o sursă luminoasă.

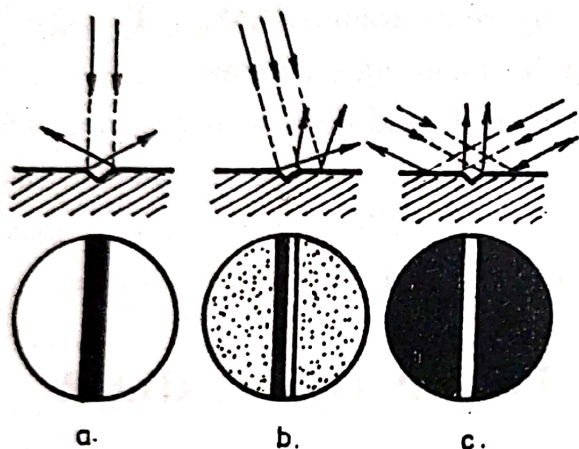


Fig. 1.4. Principiul observării structurii cristaline la microscopul metalografic: a-raza de lumină perpendiculară; b-raza de lumină ușor înclinată; c-raza de lumină puternic înclinată.

Zonele suprafeței șlefuite neatacate de reactiv vor reflecta razele luminoase înapoi spre ocular, văzându-se luminoase în microscop, pe când zonele corodate, ușor adâncite de reactivul chimic, vor apărea întunecate, deoarece razele luminoase incidente sunt reflectate în alte direcții decât spre ocular (fig.1.4, a). Sistemul de iluminare cu raze perpendiculare se numește iluminare în câmp luminos. Dacă lumina incidentă cade înclinat pe suprafața examinată (fig.1.4, b), zonele plane neatacate de reactiv apar ușor întunecate, iar zonele atacate apar cu o dungă luminoasă pe contur. Când raza de lumină este puternic înclinată, zonele plane nu vor mai reflecta lumina spre ocular, devenind întunecate, pe când zonele adâncite vor apărea luminoase pe toată suprafața (fig.1.4, c).

Analiza structurii unui oțel se poate face *macroscopic* (cu ochiul liber, cu lupa sau cu lentilele cu mărire mică ale microscopului, sub 50 X)

sau *microscopic*, când mărirea este mai mare de 75 X.

Obișnuit se examinează mai întâi macroscopic proba lustruită și neatacată cu reactiv, apoi microscopic cu mărire redusă (75... 100 X), după care se trece la examinarea probei atacate cu o mărire superioară (obișnuit 500 X). Probele se studiază cu microscopul metalografic, rareori, în scopuri științifice, cu microscopul electronic.

Analiza metalografică pune în evidență:

- ▶ caracteristicile oțelului turnat în lingouri sau în piese: segregarea zonală sau cristalină, mărirea și repartizarea suflurilor, a crăpăturilor, a incluziunilor nemetalice etc.;

Analiza microscopică urmărește:

- ▶ aspectul general al microstructurii, forma, mărirea și repartizarea cristalelor diferiților constituenți metalografici, a incluziunilor nemetalice etc;
- ▶ diferite defecte provenite din elaborare sau prelucrare prin deformare plastică la rece sau la cald etc. •

În tabelele 1.1 și 1.2 se dau principalii reactivi utilizați pentru atacarea probelor metalografice precum și caracteristicile puse în evidență prin folosirea lor.

1.6. DESCRIEREA MICROSCOPULUI

Laboratorul de Construcții Metalice este echipat cu două microscopae: un microscop universal de cercetare MC1 și un microscop metalografic MC2.

Microscopul MC1 are următoarele părți componente principale:

- stativul cu mișcările de punere la punct, talpa și masa microscopului;
- sistemul pentru observare în lumina reflectată;
- lămpile cu incandescență S_1 și S_2 ;

- instalația electrică cu tabloul de comandă;
- alte părți utilizate pentru cercetări în alte domenii (biologie, biochimie, fiziologie etc.).

Microscopul metalografic MC2 servește numai pentru metalografie și are o construcție asemănătoare, dar simplificată, conținând numai părțile necesare metalografiei. El este alimentat de la rețea printr-un transformator de 220V/ 5; 6; 7 V.

Ambele microscopae permit mișcările de punere la punct cu șuruburi micrometrice concentrice pentru mișcarea rapidă și fină pe verticală a mesei ce susține proba.

În figura 1.5 este schematizat sistemul optic al microscopului metalografic.

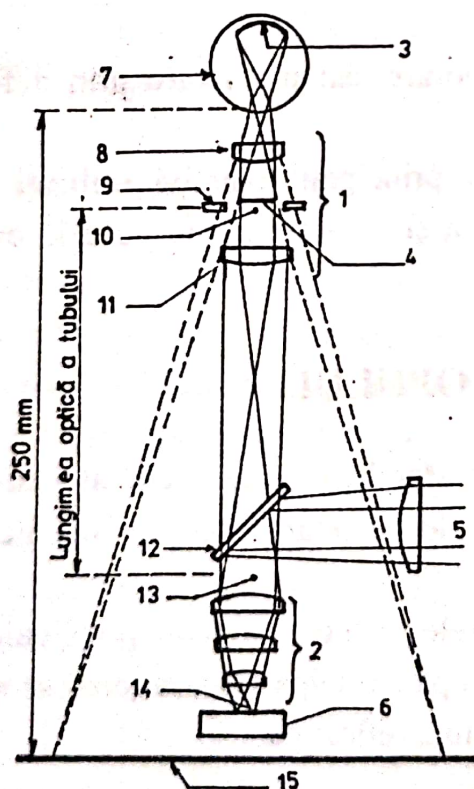


Fig. 1.5. Sistemul optic al microscopului metalografic:

- 1-ocular Huygens;
- 2-obiectiv;
- 3-imagine pe retină;
- 4-imagine primară
- 5-raze de la sursa de lumină;
- 6-aria obiectivului;
- 7-observator;
- 8-lentila ocularului;
- 9-diafragmă ocular;
- 10-primul focar al lentilei ocularului;
- 11-lentila de câmp;
- 12-sticlă cu fețe paralele;
- 13-focarul posterior al obiectivului;
- 14-focarul anterior al obiectivului;
- 15-imagine finală.

Puterea de mărire a microscopelor este variabilă, asigurată de obiective și oculare detașabile. Este posibil studiul probelor în lumină polarizată, fotografierea, filmarea imaginilor sau proiectarea lor pe un ecran.

Metalele sunt opace, opunându-se trecerii luminii, chiar sub formă de foi subțiri și de aceea structura probelor metalice trebuie studiată în *lumina reflectată* spre deosebire de preparatele biologice care sunt cercetate prin transparență.

Se examinează mai întâi proba cu ochiul liber, cu lupa simplă sau cu microscopul la mărimi mici, contatându-se eventualele defecte grosolane în structura metalului (sufluri, crăpături, incluziuni nemetalice, etc.).

Iluminarea în câmp luminos, cea mai curent utilizată în metalografie, se obține cu diafragma circulară a obiectivului, iar iluminarea în câmp întunecat, cu diafragma inelară.

Orizantalitatea suprafeței șlefuite a probei studiate se realizează presând cu presa din figura 1.6 proba metalografică așezată pe o bucată de plastilină, pe masa microscopului.

În figura 1.7 se arată imagini obținute în câmp luminos pentru probe metalografice din oțeluri cu conținut diferit de carbon.

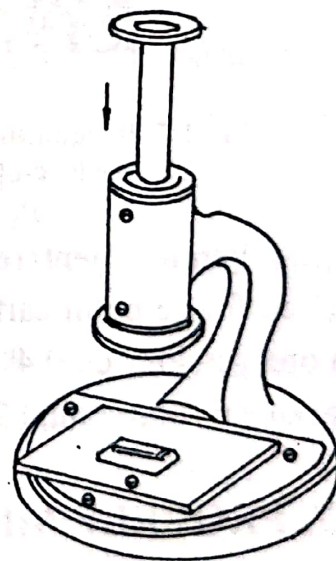


Fig. 1.6. Presă pentru realizarea orizantalității pieselor

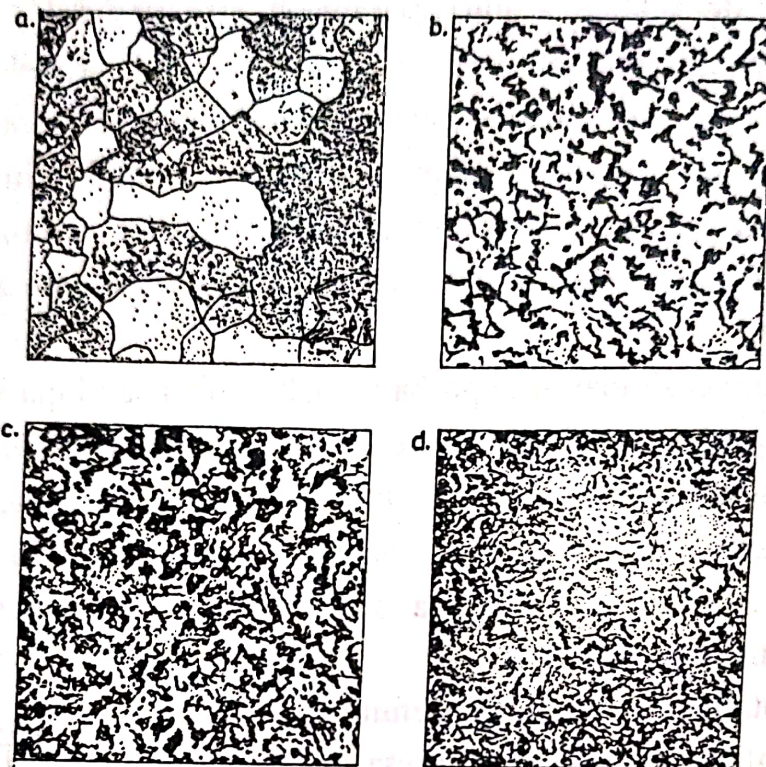


Fig.1.7. Imagini metalografice pentru oțeluri: a-oțel cu foarte puțin carbon; b-oțel moale; c-oțel semidur; d-oțel dur (cu mult carbon).

Pentru orientare se dau în figura 1.7 a, b, c, d, imaginile pentru un oțel cu foarte puțin carbon (0,008% C), un oțel moale (OL 37), cu 0,2% C, un oțel semidur cu 0,4% C și un oțel dur cu circa 0,6% C, obținute pe probe atacate cu soluție nital 2% (scara 300:1).

1.7. PROBELE METALOGRAFICE

Pentru a studia metalografic un metal, se detașează din el câteva epruvete care se șlefuiască foarte fin pe una din fețe cu mașini de șlefuit speciale.

Se examinează mai întâi proba cu ochiul liber, cu lupa simplă sau cu microscopul la mărimi mici, constatându-se eventualele defecte grosolane în structura metalului (sufluri, crăpături, incluziuni nemetalice, etc.).

Se examinează apoi proba microscopic, neatacată de reactivi, la mărimi reduse (75. . .100 X), observându-se fisuri mici, eventuale incluziuni nemetalice etc.

Urmează examinarea probei la mărimi mai mari (obișnuit 500 X), stabilindu-se mărimea grăunților, forma lor, repartizarea constituenților metalografici, eventualele defecte transcristaline.

1.8. SUCCESIUNEA OPERAȚIILOR LA MICROSCOP

- se examinează probele cu ochiul liber, constatându-se eventuale defecte;
- se instalează proba pe masa microscopului, realizându-se mai întâi orizontalitatea feței de studiat, cu presa din figura 1.6;
- se montează ocularele și obiectivele care asigură o putere de mărire mică (sub 50X);
- se pune sub tensiune sursa de lumină;
- se pune la punct imaginea, cercetându-se macroscopic;
- se schimbă apoi ocularele și obiectivul, asigurându-se o putere de mărire de 300X-1000 X;
- se desenează sau fotografiază forma grăunților cristalini, observându-se distribuția constituenților oțelurilor. Cu ocularul gradat se pot aprecia dimensiunile grăunților.

Tabelul 1.1. Exemple de reactivi pentru examinarea macroscopică a fontelor și oțelurilor

Nr. crt.	Denumirea și compoziția reactivului	Condiții de atac	Întrebuințări și observații
1	Reactiv FRY nr. 1 Clorură cuprică 1,5 g Acid clorhidric 30 ml Alcool etilic 30 ml Apă distilată 95 ml		Pune în evidență segregăția fosforului. Porțiunile mai puțin bogate în fosfor rămân neatacate. Atacul asigură un contrast clar.
2	Reactiv FRY nr. 4 Clorură cuprică 90 g Acid clorhidric 120 ml Apă distilată 100 ml	Înainte de atac este necesar ca proba să se încălzească 5 până la 30 minute între 200 și 250°C apoi se lustruiește și se atacă prin ștergerea continuă a suprafeței cu o bucată de pânză înmuiată în soluție. Se spală apoi proba în alcool sau în soluție de HCl 1:1, pentru a înlătura depunerea cuprului.	Se pune în evidență liniile de alunecare și urme de deformare în oțelurile cu conținut scăzut de carbon.
3	Reactiv LE CHATELIER Clorură cuprică 10 g Acid picric 5 g Acid clorhidric (1,19) 20 ml Alcool etilic 100 ml	Proba se șterge cu ajutorul unui tampon îmbibat în reactiv. Apoi se spală cu grijă.	Se pune în evidență segregăția fosforului ca și aceea a manganului și siliciului. Activitatea reactivului se poate adopta modificând proporțiile de acid clorhidric între 10 și 30 ml.
4	Reactiv HUMPREY Clorură cuproamoniacală 120 g Acid clorhidric (1,19) 50 ml Apă distilată 1000 ml	Se recomandă o mică abraziune după atac	Pune în evidență segregăția fosforului în oțeluri.
5	Reactiv OBERHOFFER Clorura cuprică 1 g Clorura stanoasă 0,5 g Clorură ferică 30 ml Acid clorhidric (1,19) 50 ml Apă distilată 500 ml Alcool etilic 500 ml	Prin imersare. Atacul este terminat când proba este acoperită cu un strat roșu de cupru. Proba va fi pregătită până la lustruire cu alumină (inclusiv). După atac proba se spală în alcool căruia i se adaugă puțin acid clorhidric.	Punerea în evidență a segregățiilor în oțeluri carbon și oțeluri aliate. În lumină perpendiculară, porțiunile bogate în fosfor sunt galben-roșiatice strălucitoare față de porțiunile sărace care rămân negre mate; în lumină oblică fenomenul apare invers.
6	Amestecul IATEVICI Acid clorhidric 30 ml Acid sulfuric 12 ml Apă distilată 50 ml	Se folosește în intervalul de temperatură 71...82°C timp de 15...45 minute.	Se pune în evidență orientarea fibrelor, segregățiilor, porozitățile, incluziunile, crăpăturile, grosimea stratului durificat, petele moi formate la călire. Acționează bine asupra oțelului inoxidabil. Poate provoca fisuri în oțelurile ecruisate.

1. NOȚIUNI DE METALOGRAFIE STRUCTURA CRISTALINĂ A OȚELURILOR

Tabelul 1.1. Continuare

Nr. crt.	Denumirea și compoziția reactivului	Condiții de atac	Întrebunțări și observații
7	Reactiv ADLER Clorură cuprică-amoniacală 3 g Clorură ferică 15 g Acid clorhidric (1,19) 50 cm ³ Apă distilată 25 ml	Se dizolvă mai întâi clorura cuprică, apoi acidul clorhidric și la urma clorura ferică. Atacul se face prin imersare, urmată de spălare și uscare în curent de aer cald.	Se pune în evidență structura și zona de influență termică a cusăturilor sudate din oțeluri carbon și slab aliate.
8	Acid azotic Apă distilată	Se utilizează la rece; proba se cufundă în soluție de acid sau se tamponează suprafața cu vată înmuiată în reactiv.	Pune în evidență suflurile, porozitățile, fisurile, fulgii, structura dendritică; acest reactiv este indicat la oțelurile carbon și slab aliate.
9	Persulfat de amoniu 10 g Apă distilată 90 ml	Atacul se efectuează prin frecarea suprafeței probei cu vată înmuiată în reactiv	Pune în evidență: structura îmbinărilor sudate, structura grăuntelui în cazul unei creșteri excesive a grăunților, linii de alunecare în aliajele cu azot.

Tabelul 1.2. Exemple de reactivi pentru examinarea microscopică

Nr. crt.	Denumirea și compoziția reactivului	Condiții de atac	Întrebunțări și observații
1	Acid azotic concentrat (1,40) ...5 ml Alcool etilic sau metilic (nital) 100 ml	Timpul de atac, de la câteva secunde la un minut. Sunt recomandate atacuri și lustruiri succesive.	Pune în evidență constituția aliajelor Fe-C, întunecând perlita și dând contrast între coloniile de perlită punând în evidență limitele de ferită diferențind ferita de martensită.
2	Acid azotic (1,40) 10 ml Alcool amilic (nital) 100 ml	Atac la rece sau între 50...60°C	Permite un atac mai uniform al oțelurilor perlitice. Acest reactiv delimitează bine grăunții.
3	Acid picric 4 g Alcool etilic sau metilic (picral) 100 ml	Timpul de atac, de la câteva secunde la un minut.	Reactiv utilizabil la punerea în evidență a structurilor fine în fier, oțel, fonte și oțeluri slab aliate. Este avantajos să se utilizeze după un atac preliminar cu nital.
4	Colorație termică	Proba cu grijă lustruită și eventual atacată cu soluțiile 1 sau 2 este încălzită progresiv până la apariția unei nuanțe închise. Se recomandă temperatura de 300...350°C pentru oțelurile carbon și slab aliate și 600...650°C pentru oțelurile inoxidabile.	Cristalele de ferită sunt puternic colorate. Cementita se colorează în mod egal în timp ce carburile complexe rămân în cea mai mare parte neatacate și se disting foarte bine în masa de bază. Pentru oțeluri cu conținut scăzut de carbon, perioade mici de încălzire permit deja să se vadă diferența între grăunții de ferită.



ALEGEREA CALITĂȚII OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII METALICE

În proiectarea construcțiilor metalice se urmărește, ca prin verificări de rezistență la stări limite, elementul sau structura metalică să fie ferită de riscul unei cedări clasice, prin pierderea capacității portante.

Îmbinările sudate pot conține defecte în cordoanele de sudură care favorizează amorsarea fisurilor și provoacă cedarea bruscă. Deasemenea, se produce o modificare locală a proprietăților mecanice și structurale ale metalului ce are ca efect creșterea riscului de rupere prin introducerea eforturilor reziduale de natură termică.

Clasele de calitate, care diferențiază oțelurile în cadrul aceluiași mărci, pun în evidență, pe de o parte comportarea bună la sudare, iar pe de altă parte siguranța sudurilor și a pieselor sudate prin asigurarea tenacității și evitarea ruperilor fragile.

Diferențierea oțelurilor în clase de calitate se face prin compoziția chimică și prin verificarea tenacității.

2. ALEGEREA CALITĂȚII OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII METALICE

Alegerea clasei de calitate a oțelului pentru elementele sudate, potrivit STAS R 8542-85, este în funcție de temperatura minimă de proiectare, coeficientul de periculozitate și grosimea produsului, după indicațiile cuprinse în tabelul 2.1.

Tabelul 2.1. Alegerea clasei de calitate a oțelurilor.

Temperatura minimă de proiectare [°C]							Grosimea produselor [mm]										
							5	10	15	20	25	30	35	40	45		
Coeficientul de periculozitate $G = K \cdot S \cdot B$						3,0	Clasa de calitate									7	
						3,0											2,5
					3,0	2,5	2,0	Clasa de calitate									6
				3,0	2,5	2,0	1,5										
			3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	Clasa de calitate									5
		3,0	2,5	2,0	1,5	1,0											
	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	Clasa de calitate 2 n									3	
	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5												
2,0	1,5	1,0	0,5	Clasa de calitate 1 n									2 ^k				

NOTĂ: Pentru profile se ia grosimea medie a tălpii.

Alegerea clasei de calitate se referă la elementele hașurate din fig. 2.1.

Coeficientul de periculozitate G , reprezintă o evaluare cantitativă empirică a naturii și severității solicitărilor, care se are în vedere la alegerea clasei de calitate a oțelurilor.

Coeficientul de periculozitate se calculează cu relația următoare:

$$G = K \cdot S \cdot B \quad (2.1)$$

în care:

- K este factor constructiv;
- S este factor de importanță a elementului de construcție;
- B este factor de solicitare.

Valorile coeficienților K , S și B sunt date în tabelul 2.2.

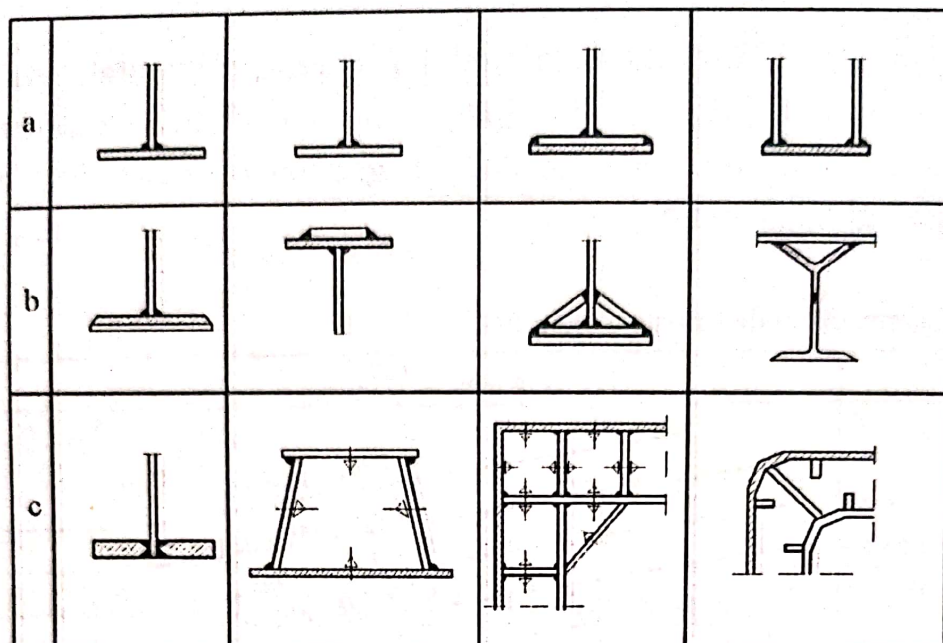


Fig.2.1. Elemente pentru care se alege clasa de calitate a oțelului potrivit tabelului 2.1.

Tabelul 2.2. Valorile coeficienților K, S, B.

Factor		Valorile coeficienților K, S, B	Valoarea coeficientului
Simbol	Denumire		
K	Factor constructiv	- elemente nituite	0,5
		- stâlpi, grinzi cu zăbrele	1,0
		- grinzi cu secțiune plină (fig. 2.1, a)	
		- grinzi cu inimă plină (fig. 2.1, b)	1,4
		- elemente prevăzute cu rigidizări	
		- elemente cu variații mari de secțiune	2,0
		- grinzi cu secțiune plină (fig.2.1, c)	
S	Factor de importanță	- elemente de construcții solicitate biaxial	
		- elemente nestructurale și a căror avariere nu afectează funcționalitatea construcției	0,5
		- elemente nestructurale și a căror avariere afectează funcționalitatea construcției	0,8
		- elemente structurale	1,0
B	Factor de solicitare	- elemente de rigidizare - elemente comprimate - elemente puțin solicitate	0,5
		- elemente de rezistență solicitate static (viteza de solicitare sub 500 [N/mm ² ·sec] exploatate la temperaturi pozitive	1,0
		- elemente de rezistență solicitate dinamic (viteza de solicitare peste 500 [N/mm ² ·sec] exploatate la temperaturi negative	1,5

Temperatura minimă de proiectare reprezintă cea mai scăzută temperatură care se are în vedere în alegerea clasei de calitate a oțelurilor și se alege ca cea mai scăzută temperatură pe care metalul o poate avea în timpul serviciului.

EUROCODE 3, Anexa C, definește o metodă care permite alegerea calității unui oțel pentru condiții precizate de solicitare, grosime și temperatură de serviciu, ținând cont de riscul ruperii fragile. Evaluarea riscului de rupere fragilă se bazează, pe de o parte pe corelația între temperatura de tranziție a încercărilor de reziliență TK27 și temperatura de rupere la deformarea plană a unei epruvete compacte rectangulare fisurate (repartiție de tip I a tensiunilor) TK_{IC} , iar pe de altă parte, pe considerarea plastificării și a tensiunilor reziduale.

La stabilirea calității oțelului se au în vedere următorii parametri: condiții de solicitare, marca de oțel, grosimea elementului, temperatura de serviciu cea mai redusă, reziliența (cu temperatura corespunzătoare tenacității necesare la rupere TK_{IC}), tipul elementului structural.

Pentru obținerea unei valori caracteristice corecte a tenacității K_{IC} , trebuie ca:

- grosimea materialului t [mm], să fie suficientă

$$t \geq 2,5(K_{IC} / f_y)^2 \quad (2.2)$$

în care:

- f_y este limita de elasticitate a materialului în [MPa];
 - K_{IC} este tenacitatea la rupere a materialului în [MPa·m^{1/2}].
- tensiunea de rupere să fie inferioară limitei de elasticitate;
 - deformația plastică la vârful fisurii să fie neglijabilă.

Normele pentru alegerea calității oțelului se referă în general la valoarea energiei de rupere de 27 J garantată pentru temperaturi scăzute. În consecință,

$$T_{\min} \geq TK_{IC} \quad (2.3)$$

în care:

- $T_{\min}$ este temperatura minimă de serviciu;
- TK_{IC} este temperatura la care, un defect de dimensiuni cunoscute din piesă nu provoacă ruperea fragilă (în general până la TK_{27} , fig.2.2).

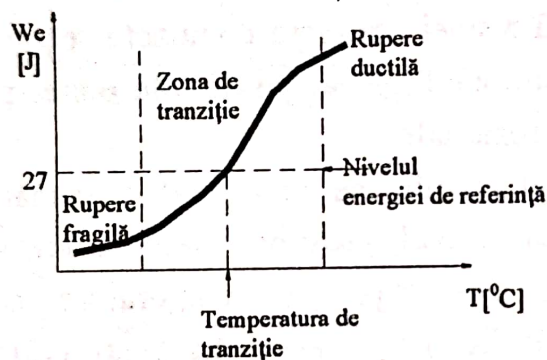


Fig. 2.2. Curba de tranziție a rezilienței.

Tenacitatea oțelului la rupere K_{IC} , se obține cu relația următoare:

$$K_{IC} = \frac{(\gamma_c \alpha)^{0.55} \cdot f_{yl} \cdot E^{0.5}}{1,226} \quad (2.4)$$

unde:

$$\alpha = 1 / [k_a + k_b \ln(t/t_1) + k_c (t/t_1)^{0.5}] \quad (2.5)$$

Coefficienții k_a , k_b , k_c , γ_c au valorile din tabelul 2.3:

- f_{yl} este limita de elasticitate inferioară:

$$f_{yl} = f_{y0} - 0.25 \frac{t}{t_1} \cdot \frac{f_{y0}}{235}; \quad t_1 = 1mm \quad (2.6)$$

2. ALEGEREA CALITĂȚII OȚELURILOR PENTRU CONSTRUCȚII METALICE

în care:

- f_{yo} este valoarea de bază a limitei de elasticitate f_y ;
- t este grosimea elementului.

Tabelul 2.3. Valoarea constantelor pentru calculul temperaturii de serviciu.

Categoria de tensiuni	S_1	S_2	S_3
K_a	0,18	0,18	0,10
K_b	0,40	0,15	0,07
K_c	0,03	0,03	0,04
Viteza de solicitare	R_1	R_2	
$K_d [s^{-1}]$	10^{-3}	1	-
Consecințele cedării	C_1	C_2	
γ_c	1,0	1,5	

Condițiile de solicitare sunt precizate în tabelul 2.4.

Tabelul 2.4. Condiții de solicitare.

Nivelul de solicitare	S1	- elemente structurale fără sudură - elemente sudate cu tensiuni locale de întindere care nu depășesc $0,2 f_y$; - elemente sudate care au suferit tratamente termice, cu tensiuni locale de întindere, care nu depășesc $0,65 f_y$;
	S2	- elemente sudate cu tensiuni locale de întindere cuprinse între $(0,2 - 0,67) f_y$; - suduri detensionate solicitate de tensiuni mai mici sau egale cu $2 f_y$;
	S3	- elemente sudate cu zone de tensiuni complexe: - elemente sudate cu tensiuni locale cuprinse între $(0,67 - 2) f_y$; - suduri care au suferit tratamente termice cu tensiuni locale cuprinse între $(2-3) f_y$.
Viteza de solicitare	R1	- solicitare statică sau moderată corespunzătoare structurilor supuse la încărcări permanente, încărcări rutiere, încărcare din vânt, din valuri, de smulgere.
	R2	- viteză de solicitare rapidă datorată impactului, exploziilor.
Consecințele cedării	C1	- ruperea îmbinărilor sau a barelor care produc cedarea localizată, fără consecințe grave asupra securității oamenilor și a conservării structurii (ex.: element hiperstatic).
	C2	- ruperea îmbinărilor sau a barelor care prin cedare localizată produce prăbușirea structurii cu consecințe dezastruoase.

Temperatura minimă de serviciu se calculează cu relația:

$$T_{\min} = 1,4 T_{CV} + 25 + \beta + (83 - 0,08 f_{yl}) (k_d)^{0,17} \quad (2.7)$$

unde:

$$- \beta = 100 (\ln K_{IC} - 8,06) \quad (2.8)$$

- k_d este dat în tabelul 2.4;

- T_{CV} este temperatura de încercare pe epruvete Charpy V, echivalentă pentru reziliența de 27 J, tabelul 2.6.

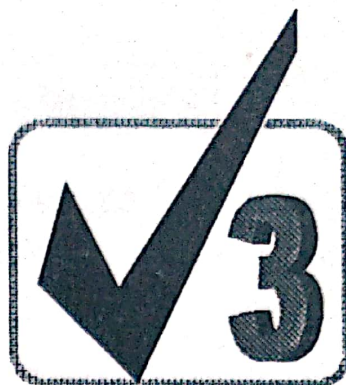
Tabelul 2.6. Temperatura de încercare echivalentă T_{CV} (tab.C3, EUROCODE 3, Anexa C).

Calitatea oțelului	EN 10025		Temperatura de tranziție echivalentă T_{CV} pentru $W_e = 27J$	
	Temperatura de încercare TK_{IC}	Energia minimă de rupere		
		$t > 10$ $t \leq 150$ 1)	$t > 150$ $t \leq 250$ 1)	
B	+ 20	27	23	+ 20
C	0	27	23	0
D	- 20	27	23	- 20
DD	- 20	40	33	- 30 ²⁾

NOTĂ: 1) Pentru secțiuni cu grosimea nominală > 100 mm valoarea va fi pusă de acord cu producătorul.

2) Valorile pe epruvete Charpy V se consideră echivalente cu energia de 40 J la - 20°C sau 33 J pentru oțel cu grosimea cuprinsă între 150 și 200 mm.

✓ **OBSERVAȚIE:** Metoda prezentată se referă la oțelurile de marcă și clasă cuprinse în **EURONORM EN 10025** și nu se aplică decât pentru temperaturi de serviciu egale sau mai mari decât -40°C.



ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR

Stabilirea caracteristicilor materialelor din care se alcătuiesc construcțiile metalice necesită unele experimentări care se realizează de obicei, în laboratoare specializate.

Încercările mecanice ale oțelurilor sunt utile verificării caracteristicilor garantate de producător și pentru încadrarea acestora în toleranțele admise de norme. În lipsa certificatelor de calitate, prin efectuarea încercărilor mecanice se pot stabili marca, clasa de calitate și gradul de dezoxidare. Utilitatea acestor încercări este evidentă în cazul expertizelor tehnice și la efectuarea consolidărilor construcțiilor metalice pentru care nu există date suficiente referitoare la caracteristicile materialelor utilizate.

Conform STAS 500/1-80, oțelurile de uz general pentru construcții se clasifică în clase de calitate, după garanțiile date la livrare (tab.3.1).

Tabelul 3.1. Garanții de livrare a oțelurilor.

Clasa de calitate	Caracteristici garantate								
	Produse finite laminate								
	Compoziția chimică	Caracteristici mecanice la tracțiune	Îndoire la rece	Reziliența la +20° C	Energia la rupere				
0° C					-20° C	-30° C	-40° C	-50° C	
1	da	da	da	-	-	-	-	-	-
2	da	da	da	da	-	-	-	-	-
3	da	da	da	da	da	-	-	-	-
4	da	da	da	da	-	da	-	-	-
5	da	da	da	da	-	-	da	-	-
6	da	da	da	da	-	-	-	da	-
7	da	da	da	da	-	-	-	-	da

Proprietățile mecanice ale oțelului sunt determinate, în primul rând, de compoziția chimică, procesele de prelucrare mecanică și tratamentele mecanice, iar în al doilea rând, de tehnica încercării caracterizată prin viteza de încercare, caracteristicile geometrice ale epruvetei, temperatura din momentul încercării, etc.

În cazul încercărilor statice de rezistență, forțele care se aplică asupra epruvetelor sunt constante sau variază așa de puțin timp, încât forțele de inerție care apar sunt neglijabile. Încercările statice de scurtă durată se fac prin solicitarea epruvetei sub acțiunea unei forțe, cuplu sau deformații, aplicate lent, continuu și progresiv iar durata încercării nu depășește câteva minute.

Prin încercări statice de scurtă durată (încercarea la întindere, încercarea de duritate, etc.) se pot determina rezistența la rupere,

deformațiile plastice la rupere și tensiunile limită corespunzătoare anumitor deformații plasice.

Încercările dinamice (încercarea la încovoiere prin șoc, încercarea la oboseală), permit aprecierea tenacității oțelurilor prin capacitatea acestora de a se opune ruperii fragile determinate de concentrația chimică necorespunzătoare, fenomene de îmbătrânire, stări complexe de sollicitare, concentrări de tensiuni, temperaturi scăzute de exploatare, încărcări aplicate dinamic, etc.

3.1. ÎNCERCAREA LA TRACȚIUNE

3.1.1. Încercarea la tracțiune a oțelului

3.1.1.1. *Pincipiul încercării. Diagrama caracteristică*

O stare de tensiune oarecare se poate echivala, pe baza anumitor criterii, cu starea de tensiune de la întinderea monoaxială, care este cea mai simplă și ușor de realizat experimental. De aceea, încercarea la tracțiune este considerată încercarea de bază a oțelului.

Încercarea la tracțiune se execută în conformitate cu norma SR EN 10102-1/1995 și constă în aplicarea lentă și progresivă, în general până la rupere, a unei forțe de tracțiune pe direcția axei longitudinale a epruvetei, în vederea determinării caracteristicilor mecanice ale oțelurilor.

Încercarea se desfășoară de obicei la temperatură ambiantă, cuprinsă între 10°C și 35°C.

Caracteristicile mecanice ale oțelurilor care pot fi atestate cu ajutorul acestei încercări, sunt:

- limita de curgere aparentă, R_e ;
- limita de curgere convențională, R_p ;
- rezistența la tracțiune, R_m ;
- alungirea procentuală după rupere, A ;
- coeficientul de gătuire, Z .

În figura 3.1, a, este trasată diagrama caracteristică a epruvetei supusă la tracțiune. Această curbă exprimă dependența între tensiunea σ (raportul între forța și aria secțiunii inițiale, S_0 , a epruvetei în fiecare moment al încercării) și alungirea procentuală A (alungirea în procente din lungimea inițială între repere, L_0).

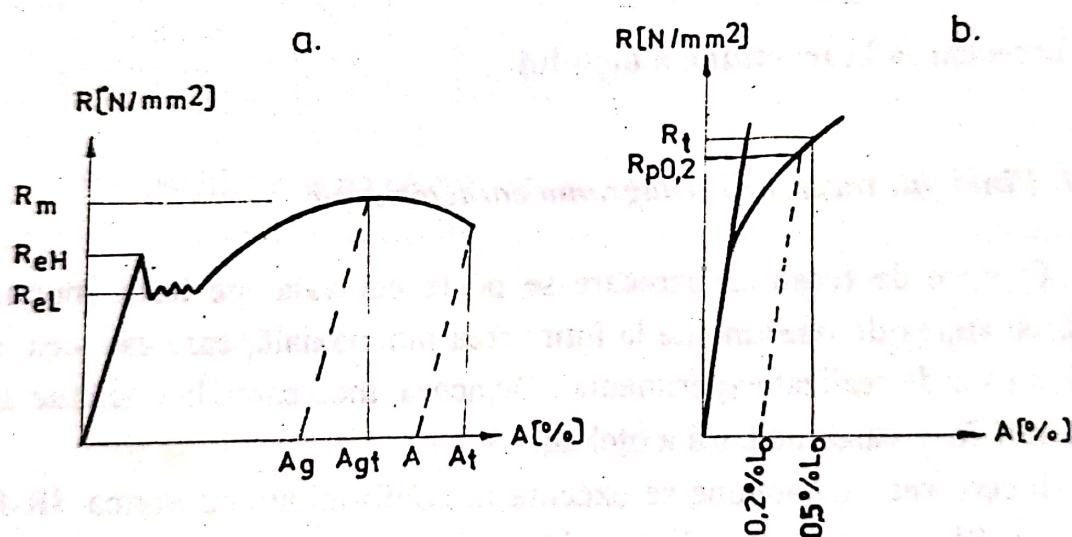


Fig.3.1. Diagrame caracteristice pentru oțeluri: a- oțeluri cu palier de curgere; b- oțeluri fără palier de curgere.

OBSERVATIE:

Norma de calcul europeană **EUROCODE 3** utilizează notația f_y pentru limita de elasticitate și f_u pentru rezistența la tracțiune.

3.1.1.2. Epruvete pentru încercarea la tracțiune

Rezultatele încercărilor de întindere pot fi comparabile numai dacă epruvetele respectă anumite condiții de formă, dimensiuni și prelucrare.

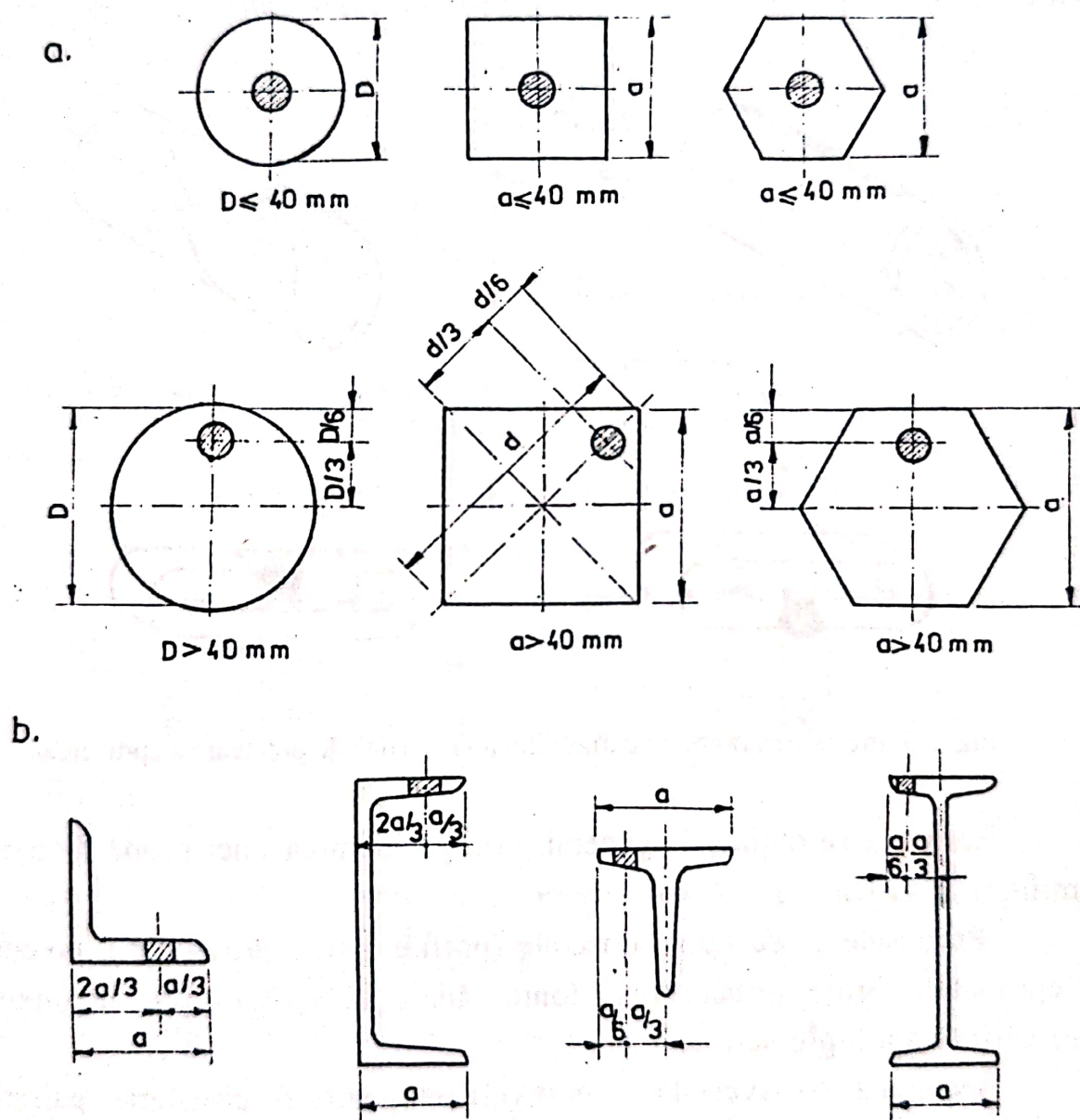


Fig. 3.2. Prelevarea probelor extrase din: a-bare; b-profile laminate.

Forma și dimensiunile epruvetelor depind de forma și dimensiunile produselor metalice ale căror caracteristici mecanice trebuie determinate.

Prelevarea epruvetelor este prezentată în figura 3.2 pentru bare, în figura 3.3 pentru țevi, iar în figura 3.4 pentru table sau benzi.

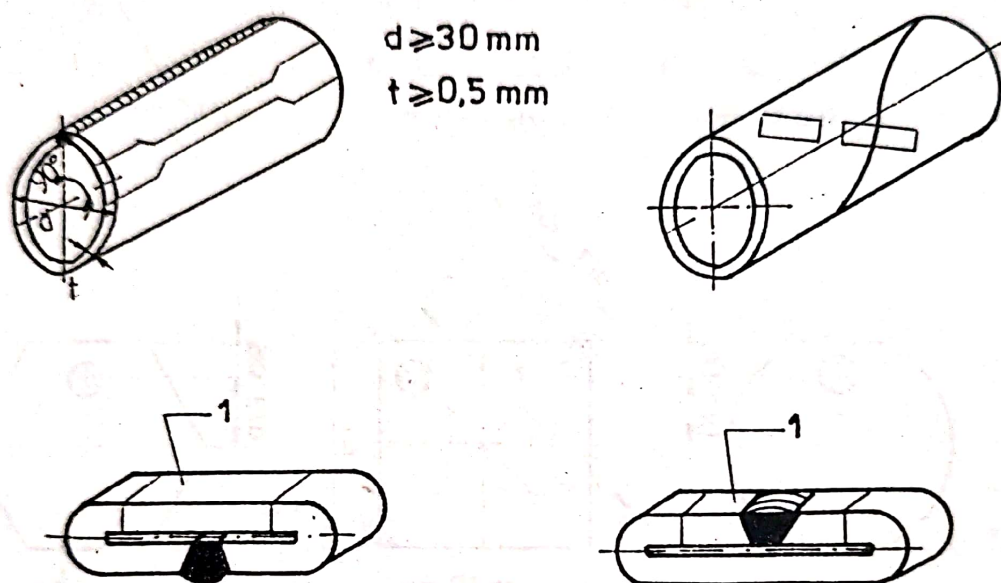


Fig. 3.3. Prelevarea probelor extrase din țevi: 1-zonă de prelevare a epruvetelor.

Epruveta se obține, în general, prin prelucrarea unei probe dintr-un semifabricat turnat.

Produsele cu secțiuni constante (profile, bare, sârme, etc.), precum și epruvetele brute turnate (ex: fonte, aliaje neferoase) pot fi supuse încercării fără a fi prelucrate.

Secțiunea transversală a epruvetelor poate fi circulară, pătrată, dreptunghiulară, inelară (fig. 3.5), sau în cazuri speciale, de alte forme.

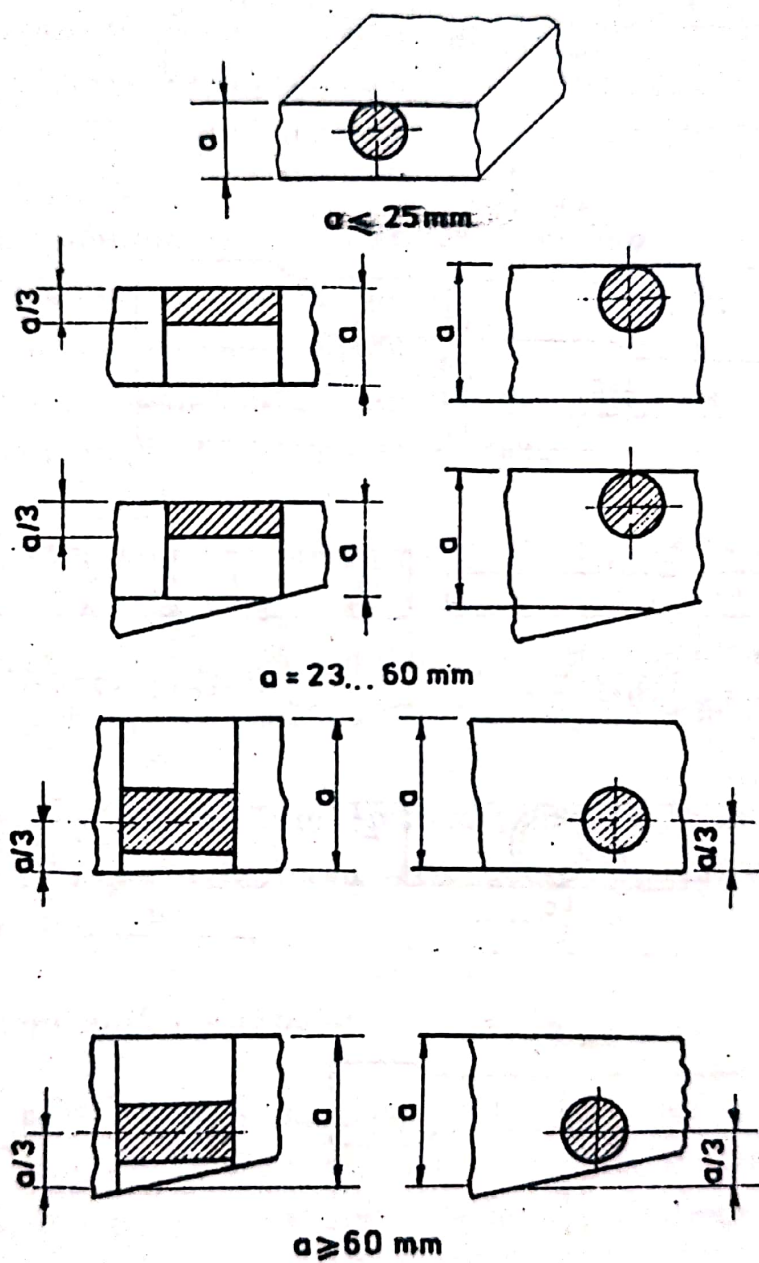


Fig. 3.4. Prelevarea probelor extrase din table sau benzi.

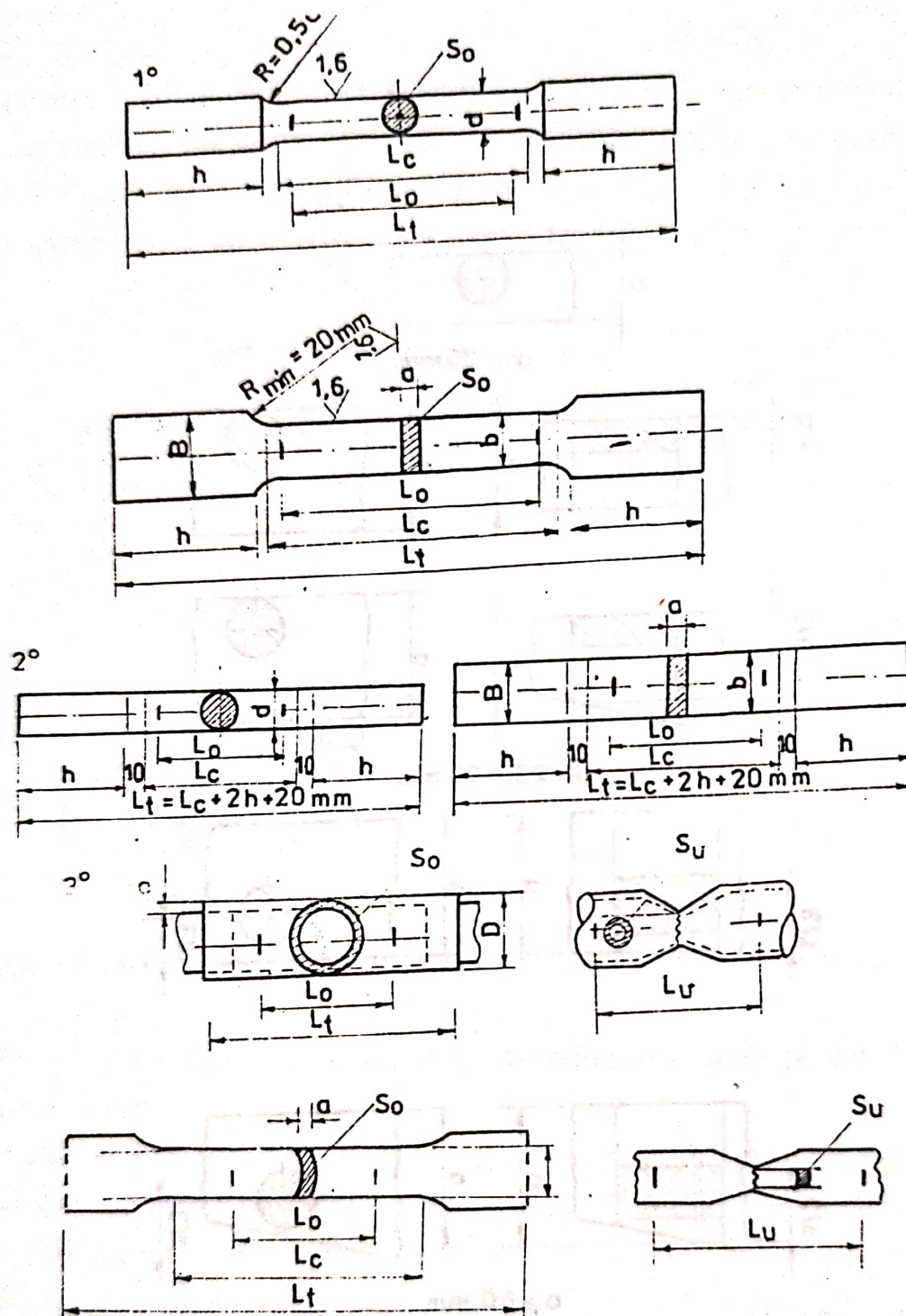


Fig. 3.5. Epruvete pentru încercarea la tracțiune: 1°-epruvete proporționale; 2°-epruvete constituite dintr-o porțiune neprelucrată din produs; 3°-epruvete prelucrate din țevi.

Principalele dimensiuni ale unei epruvete pentru încercarea la tracțiune sunt:

- d este diametrul porțiunii calibrate al unei epruvete circulare, sau diametrul sârmei, sau diametrul interior al unei țevi;
- b este lățimea porțiunii calibrate a unei epruvete plate sau lățimea medie a fâșiei longitudinale prelevate dintr-o țeavă sau lățimea sârmei plate;
- L_o este lungimea inițială între repere;
- L_c este lungimea porțiunii calibrate;
- L_u este lungimea ultimă la rupere;
- S_o este aria secțiunii inițiale a porțiunii calibrate;
- S_u este aria minimă a secțiunii după rupere.

Epruvetele pot fi proporționale ($L_o = k\sqrt{S_o}$; $k=5,65$ sau $k=11,3$), sau neproporționale (L_o este independentă de S_o).

Epruvetele se confecționează cu capete de prindere care trebuie să fie coaxiale cu lungimea calibrată pentru a asigura solicitarea de tracțiune simplă.

Porțiunea calibrată este racordată prin raza de curbură cu capetele de prindere care pot avea forme adaptate la dispozitivele de fixare ale mașinii de încercare.

3.1.1.3. Dimensiunile epruvetelor

a) Epruvete pentru table și benzi cu grosimi mai mari sau egale cu 3 mm, sârme, bare și profile cu diametrul sau latura egale sau mai mari de 4 mm

Lungimea porțiunii calibrate, L_c , trebuie să fie de $L_o + d/2$, în cazul epruvetelor cu secțiune circulară și de $L_o + 1,5\sqrt{S_o}$, în cazul epruvetelor prismatice.

Pentru încercarea la tracțiune se utilizează de obicei epruveta proporțională caracterizată prin relația $L_0 = k\sqrt{S_0}$, unde k este egal cu 5,65, ceea ce pentru epruvetele cu secțiune circulară reprezintă $L_0 = 5d$.

Epruvetele cu secțiune circulară au dimensiunile din tabelul 3.2.

Tabelul 3.2. Dimensiunile epruvetelor cu secțiune circulară.

k	Diametrul D [mm]	Aria secțiunii inițiale S_0 [mm ²]	Lungimea inițială între repere $L_0 = k\sqrt{S_0}$ [mm]	Lungimea calibrată minimă L_c [mm]	Lungimea totală L_t [mm]
5,65	20±0,15	314,2	100±1,0	110	Depinde de modul de fixare a epruvetei în fâlcile mașinii $L_t > L_0 + 2d$
	10±0,075	78,5	50±0,5	55	
	5±0,04	19,6	25±0,25	28	

b) Epruvete pentru sârme, bare și profile cu diametrul sau latura mai mici de 4 mm

Lungimea inițială între repere, L_0 , trebuie să fie egală cu (200±2)mm, sau cu (100±1)mm, sau egală cu $11,3\sqrt{S_0}$ în cazul produselor cu diametrul mai mare sau egal cu 1 mm. Distanța între fâlcile mașinii se consideră de $L_0 + 50$ mm, cu excepția sârmelor cu diametre mai mici unde aceasta distanță poate fi egală cu L_0 .

c) Epruvete pentru produse subțiri, table și benzi cu grosimi cuprinse între 0,1 mm și 3 mm

Pregătirea epruvetelor se realizează astfel încât să nu afecteze caracteristicile materialului. Zonele ecruisate se elimină prin prelucrare.

Forma epruvetei poate fi cea obișnuită (fig.3.5), sau poate consta dintr-o bandă cu laturi paralele.

Se pot întrebuința epruvete neproporționale sau proporționale.

Lungimea calibrată a epruvetei neproporționale trebuie să fie cel mult egală cu $L_0 + b/2$.

Dimensiunile epruvetelor constituite din benzi cu laturi paralele sunt prezentate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3. Dimensiunile epruvetelor constituite din benzi.

Tip epruvetă	Lățime b	Lungime inițială între repere $L_0 = k\sqrt{S_0}$	Lungime calibrată L_c	Lungime minimă liberă între fălcile mașinii
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1	$12,5 \pm 1$	50	75	27,5
2	20 ± 1	80	120	140

Pentru epruvetele prezentate mai sus se poate lua lungimea între repere proporțională cu aria secțiunii inițiale conform uneia din cele două relații: $L_0 = 5,65\sqrt{S_0}$, sau $L_0 = 11,3\sqrt{S_0}$.

d) Epruvete pentru țevi

Epruveta se realizează dintr-un tronson de țevă, fie dintr-o fâșie longitudinală sau transversală prelevată din țevă, având grosimea egală cu a peretelui țevii (fig.3.5), fie direct din peretele țevii (epruveta cu secțiune circulară).

3.1.1.4. Determinarea ariei secțiunii inițiale (S_0)

Aria secțiunii inițiale se calculează în funcție de natura și tipul epruvetei.

Pentru produsele cu secțiune circulară, aria secțiunii inițiale se poate calcula cu ajutorul mediei aritmetice a două măsurători făcute pe două direcții perpendiculare. De asemenea, S_0 poate fi determinată pornind de la masa unei lungimi cunoscute și de la densitatea sa.

În cazul țevelor, pentru epruvete sub formă de fâșie longitudinală sau transversală, se utilizează relația:

$$S_0 = (b/4)(D^2 - b^2)^{1/2} + (D^2/4)\arcsin b/D - (b/4)[(D-2a)^2 - b^2]^{1/2} - [(D-2a)/2]^2 \arcsin[b/(D-2a)] \quad (3.1)$$

unde:

- a este grosimea peretelui țevii;
- b este lățimea fâșiei longitudinale;
- D este diametrul exterior.

Pentru epruvete longitudinale sau transversale, se pot utiliza următoarele relații simplificate:

$$-b/D < 0,25 \quad S_0 = a \cdot b \left[1 + \frac{b^2}{6D(D-2a)} \right] \quad (3.2)$$

$$-b/D < 0,17 \quad S_0 = a \cdot b \quad (3.3)$$

În cazul unui tronson de țevă:

$$S_0 = \pi a(D-a) \quad (3.4)$$

3.1.1.5. Condiții de execuție a încercării la tracțiune

i) Aparatura de încercare

Încercarea la tracțiune poate fi realizată cu mașini universale, fig.3.6, sau mașini automate.

Mașina universală este alcătuită din trei părți principale:

- cadrul de rezistență cu dispozitivele de fixare ale epruvetelor (a);
- pompe de ulei și dispozitivele de acționare (b);
- dispozitivul de indicare a forței (c).

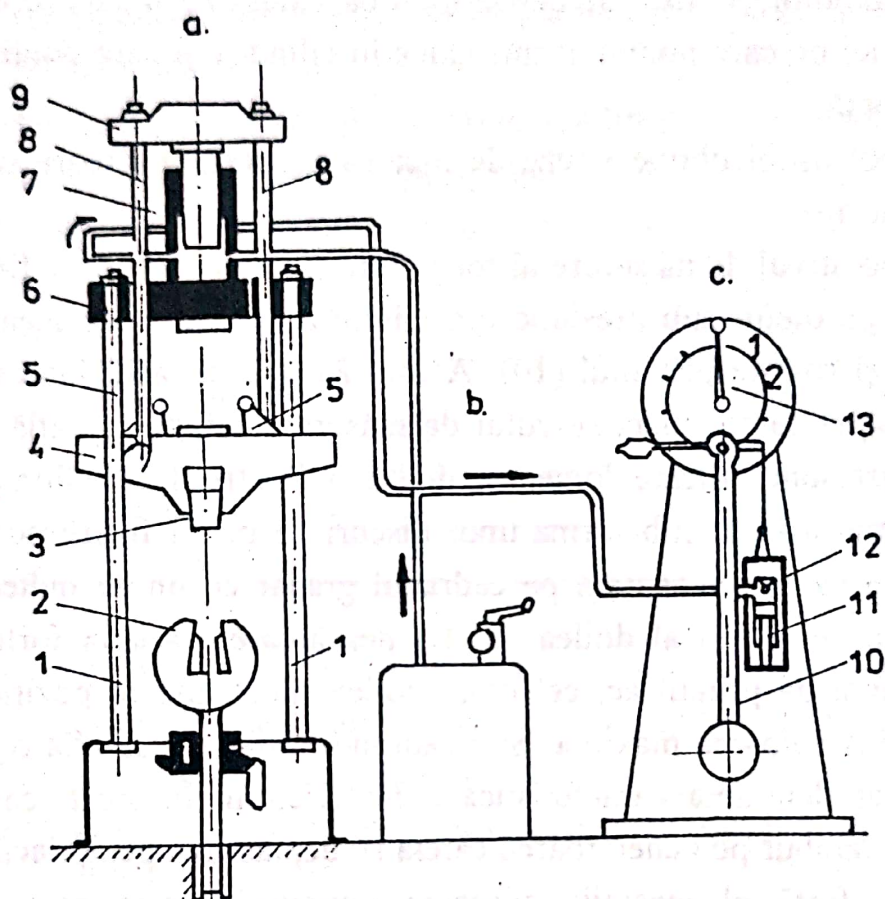


Fig.3.6. Mașina de încercare la tracțiune: 1-cadru fix; 2-banc; 3-banc pentru fixarea epruvetei; 4, 5, 6-părți componente ale bancului; 7-cilindru; 8-cadru mobil; 9-parte superioară a cadrului mobil; 10-pendul; 11-cilindru; 12-cadru; 13-ac indicator.

Cadrul de rezistență este format dintr-un cadru fix (1) prins pe batiul mașinii și cadrul mobil (8) care are la partea inferioară bancul (3) pentru fixarea epruvetei la încercarea la tracțiune și reazemele (5) pentru încercarea epruvetei la încovoiere. Poziția bancului (2) se reglează în funcție de înălțimea epruvetei. Forța se aplică epruvetei prin intermediul pistonului (7) care deplasează cadrul mobil.

Pompa de ulei este instalată într-un corp independent, fiind antrenată de un electromotor. Viteza de deplasare a cadrului mobil este în funcție de debitul de ulei pe care pompa îl introduce în cilindru și care poate fi reglat printr-o manetă.

Se pot astfel obține viteze de încercare corespunzătoare condițiilor impuse de norme.

Dispozitivul de măsurare al forței este alcătuit dintr-un cilindru (11) în care ajunge uleiul sub presiune din cilindrul (7) care deplasează în jos cadrul (12) și rotește pendulul (10). Acesta antrenează acul indicator (13). La partea superioară a dispozitivului de măsurare a forței se află cadranul gradat pe care sunt indicate domeniile de lucru. Pentru fiecare domeniu sunt prevăzute contrasăgeți sub forma unor discuri ce pot fi fixate pe pendulul (10). Încărcarea este măsurată pe cadranul gradat cu un ac indicator care antrenează cu el și un al doilea ac. La descărcare, variația forței F este indicată numai de primul ac, cel de-al doilea rămânând în poziția în care forța F a atins valoarea maximă. Sub cadranul indicator se află o instalație de înregistrat diagrama caracteristică a materialului încercat, care are în alcătuire un tambur pe generatoarea căreia se deplasează penița acționată de sistemul de forță al mașinii; mișcarea tamburului este comandată de semnalul electric primit de la un extensometru sau un comparator montat pe epruvetă.

Epruveta supusă la tracțiune se fixează în bancurile (2) și (3) ale mașinii de încercat, astfel încât forța să fie pe cât posibil axială.

Mașina de încercat trebuie verificată conform prescripțiilor din SR EN 10002-2, iar extensometrul conform SR EN 10002-4. Lungimea de bază a extensometrului trebuie să fie de cel puțin 10 mm și trebuie să fie plasată în porțiunea mijlocie a zonei calibrate. Este de preferat ca extensometrul să fie capabil să măsoare extensia pe ambele părți ale epruvetei și să permită obținerea mediei celor două citiri.

ii) Viteza de solicitare

Forța se aplică în lungul axei epruvetei astfel încât să o deformeze continuu, fără șoc sau vibrații.

În domeniul elastic și până la atingerea limitei superioare de curgere, viteza de îndepărtare a fălcilor mașinii trebuie să fie constantă și cuprinsă în limitele corespunzătoare, menționate în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4. Viteza de solicitare.

Modulul de elasticitate al materialului E [N/mm ²]	Viteza de solicitare [N/mm ² ·s ⁻¹]
< 150 000	2 ... 10
≥ 150 000	6 ... 30

În cazul în care se determină numai limita de curgere inferioară, viteza de deformare a porțiunii calibrate a epruvetei în timpul curgerii trebuie să fie cuprinsă între 0,00025/s și 0,0025/s.

Rezistența la tracțiune se determină pentru viteza de deformare sub 0,008/s.

iii). Executarea încercării

După verificarea dimensiunilor epruvetelor, se stabilește viteza de solicitare în funcție de scopul urmărit prin efectuarea încercării la tracțiune.

Se așază greutatea corespunzătoare pe pendulul (10) al mașinii și se pornește pompa rotind ușor maneta în sens antiorar, readucând-o apoi în poziția zero. Se potrivesc acele indicatoare (13) la zero.

Prinderea epruvetei se face în bancul (3) și apoi în (2), având grijă ca reperele să rămână în afara bancurilor mașinii.

Se rotește maneta pompei de ulei în sens antiorar până la limita care marchează începutul încercării.

Prin aplicarea încărcării asupra epruvetei, acele indicatoare încep să se rotească în sens orar indicând pe cadran mărimea forței. Se majorează încărcarea urmărind acul manometrului care, la un moment dat, se oprește și apoi oscilează în jurul acestei poziții, ceea ce înseamnă că forța de întindere a epruvetei rămâne constantă, în timp ce deformațiile epruvetei cresc foarte mult. În această situație s-a atins limita de curgere aparentă a materialului de la care este vizibilă deformația epruvetei.

Mărind viteza de încărcare a epruvetei, se observă că forța crește din ce în ce mai încet, deși deformația crește vizibil. Se observă de asemenea, apariția unei gâtuirii care precede ruperea materialului.

Acul indicator se reîntoarce înspre poziția zero, iar al doilea ac rămâne în dreptul încărcării maxime atinse pe parcursul încercării.

După ruperea epruvetei se alătură cele două părți ale acesteia pentru măsurarea lungimii dintre repere după rupere L_u , și a secțiunii gătuite a epruvetei S_u , fig.3.7.

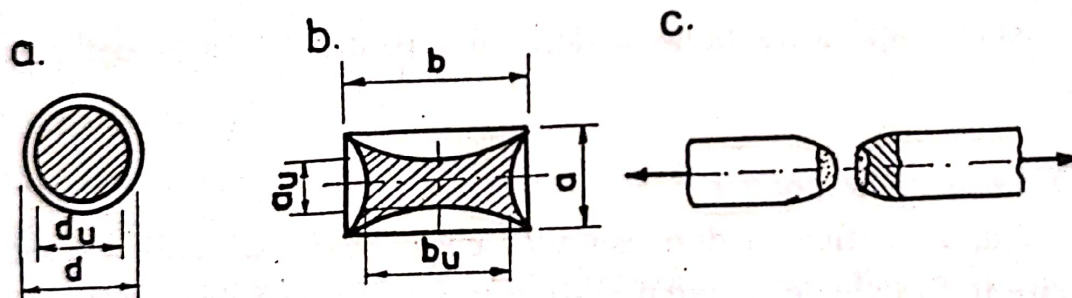


Fig.3.7. Stabilirea secțiunii ultime transversale a epruvetei.

3.1.1.6. Determinarea caracteristicilor mecanice ale oțelului

1°. Limita de curgere

Limita de curgere aparentă R_e , reprezintă raportul dintre forța corespunzătoare curgerii aparente și aria secțiunii transversale inițiale ale epruvetei.

Momentul curgerii aparente se determină vizual prin urmărirea poziției acelor pe cadranul gradat al mașinii de încercat, sau din diagrama înregistrată, considerând $R_e = R_{eL}$.

Limita de curgere aparentă R_e există numai la oțelurile moi.

Limita de curgere superioară R_{eH} și cea inferioară R_{eL} , reprezintă raportul dintre forța maximă/minimă care se înregistrează în cursul curgerii aparente și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei. Aceste caracteristici se pot determina numai din diagramele înregistrate, prin eliminarea fluctuațiilor tranziente inițiale.

Limita de curgere convențională R_p , reprezintă raportul dintre încărcarea corespunzătoare unei alungiri neproportionale prescrise și aria secțiunii transversale inițiale a epruvetei. Alungirea neproportională se înscrie drept indice.

La oțeluri dure, limita de curgere convențională se notează $R_{p0.2}$. Această limită se determină din diagrama înregistrată pe baza măsurărilor (fig.3.8), prin trasarea unei drepte paralele cu porțiunea rectilinie a curbei, distanțată de aceasta cu o valoare care corespunde procentajului neproportionat prescris (0,2%). Ordonata punctului de intersecție a acesteia cu curba din diagramă determină încărcarea aferentă limitei de curgere convenționale prescrise.

Atunci când porțiunea rectilinie a diagramei nu este clar definită astfel încât dreapta paralelă nu poate fi trasată cu o certitudine suficientă, se recomandă următorul procedeu:

- După ce s-a depășit limita de curgere convențională stabilită, forța se reduce până la o valoare egală cu 10% din forța atinsă. Apoi se crește din nou forța până ce se depășește valoarea atinsă inițial.
- Pentru determinarea limitei de curgere convențională prescrisă, în interiorul buclei de histerezis se trasează o dreaptă.

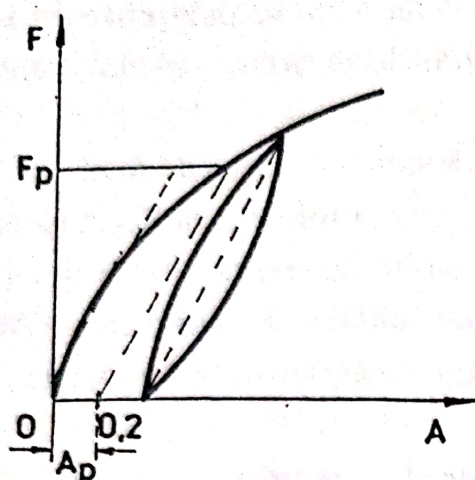


Fig. 3.8. Stabilirea limitei de curgere convenționale

➤ Se trasează apoi o dreaptă paralelă cu aceasta din urmă la o distanță de originea curbei măsurată pe axa absciselor, corespunzătoare procentajului neproportional prescris. Punctul unde această dreaptă paralelă intersectează curba forța-extensie corespunde limitei de curgere convenționale.

Această caracteristică poate fi obținută cu ajutorul mașinilor automate, fără stabilirea diagramei forța-extensie.

2°. Rezistența la tracțiune R_m

Rezistența la tracțiune R_m , reprezintă raportul dintre forța maximă și aria secțiunii inițiale a epruvetei.

În cazul oțelurilor cu conținut ridicat de carbon, rezistența la rupere este foarte apropiată de limita de curgere.

3°. Alungirea procentuală după rupere

Alungirea procentuală după rupere A , este alungirea remanentă a lungimii între repere după rupere.

Relația pentru determinarea alungirii procentuale după rupere este următoarea:

$$A = [(L_u - L_o) / L_o] \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.5)$$

unde:

- L_u este lungimea ultimă între repere;
- L_o este lungimea inițială între repere.

Alungirea remanentă după rupere ($L_u - L_0$), trebuie să fie determinată cu o precizie de 0,25 mm, cu un dispozitiv de măsurare cu o rezoluție de 0,1 mm, iar valoarea alungirii procentuale după rupere trebuie rotunjită la cea mai apropiată valoare de 0,5 %. Această valoare este valabilă dacă distanța de la secțiunea de rupere la reperul cel mai apropiat este mai mare de $L_0/3$.

Pentru mașini capabile să măsoare extensia la rupere cu ajutorul unui extensometru, reperele de lungime nu sunt necesare. Alungirea măsurată este extensia totală la rupere și, pentru obținerea alungirii procentuale după rupere, este necesară scăderea extensiei elastice. Această mărime este valabilă dacă ruptura se situează pe lungimea de bază a extensometrului (L_0).

4°. Măsurarea alungirii procentuale după rupere

Pentru a obține alungiri la rupere comparabile în cazul utilizării epruvetelor cu secțiuni diferite, se poate aplica următoarea metodă:

- înainte de încercare, se împarte lungimea inițială între repere L_0 , în N părți egale;
- după încercare, se marchează cu X reperul celui mai scurt fragment și cu Y, reperul diviziunii de pe fragmentul cel mai lung a cărui distanță până la ruptură este cea mai apropiată de reperul X.

Dacă n este numărul de intervale între X și Y, alungirea după rupere se determină astfel:

- dacă $N-n$ este un număr par (fig.3.9, a), se măsoară distanța dintre X și Y și distanța lui Y la diviziunea Z, situată la $(N-n)/2$ intervale după Y. Alungirea procentuală după rupere se calculează cu relația:

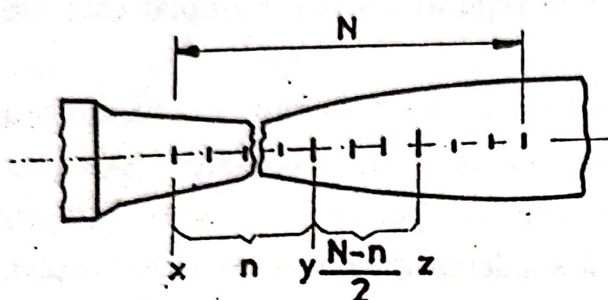
$$A = \frac{XY + 2YZ - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (3.6)$$

- dacă $N-n$ este un număr impar (fig.3.9, b), se măsoară distanța între X și Y și distanța lui Y la diviziunile Z' și Z'' situate la $(N-n-1)/2$ și respectiv

$(N-n+1)/2$ intervale după Y. Alungirea procentuală după rupere este:

$$A = \frac{XY + YZ' + YZ'' - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (3.7)$$

a.



b.

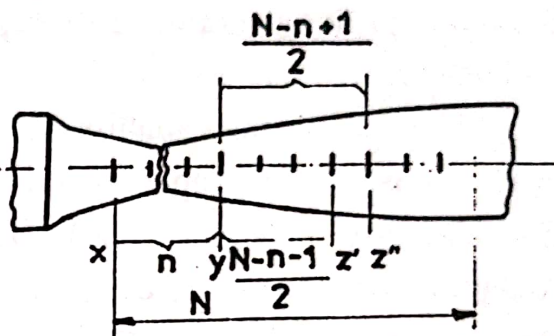


Fig. 3.9. Măsurarea alungirii procentuale după rupere: a-(N-n) este par; b-(N-n) este impar.

5° Coeficientul de gâtuire Z

Coeficientul de gâtuire Z, se determină din raportul dintre reducerea ariei secțiunii transversale a epruvetei în ruptură ($S_0 - S_u$) și aria secțiunii inițiale, exprimat în procente.

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.8)$$

Aria secțiunii ultime transversale S_0 , este aria secțiunii transversale minime a epruvetei calculată cu dimensiunile măsurate ale secțiunii de rupere.

Evaluarea acestei secțiuni se face în funcție de condițiile convenționale de măsurare ale dimensiunilor: dacă epruveta este rotundă, diametrul secțiunii de rupere (d_u) se consideră ca fiind media aritmetică a dimensiunilor transversale maxime și a celor minime (fig.3.7); dacă epruveta este plată, se iau în considerație pentru calculul ariei secțiunii dreptunghiulare, dimensiunile minime măsurate în secțiune (a_u, b_u).

3.1.1.7. Metodologia de determinare a caracteristicilor garantate de marcă privind încercarea la tracțiune

Metodologia de determinare a caracteristicilor garantate de marcă cuprinde următoarele etape:

- stabilirea numărului de loturi și de epruvete dintr-un lot care urmează să fie încercate pentru stabilirea valorilor urmărite;
- stabilirea gradului de omogenitate și eliminarea datelor care nu pot fi considerate reprezentative pentru produs;
- stabilirea metodologiei de determinare a valorilor propriu-zise cu ajutorul statisticii matematice.

Trasarea fișei de control se bazează pe cunoașterea a două date statistice:

- media aritmetică $\bar{X}$ a valorilor caracteristicii;
- abaterea medie pătratică, s sau amplitudinea, w .

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.9)$$

$$w = X_{\max} - X_{\min} \quad (3.10)$$

unde:

- n este numărul de epruvete;
- $X_{\max}$ este valoarea cea mai mare a caracteristicii studiate;
- $X_{\min}$ este cea mai mică valoare a caracteristicii.

Valoarea caracteristicii studiate pentru un nivel de încredere dat, se calculează cu relația:

$$R_p = \bar{X} - Z \cdot s \quad (3.11)$$

unde:

- p este un indice care reprezintă probabilitatea exprimată în procente ca valoarea caracteristicii determinate pe o epruvetă dintr-un lot să fie mai mare sau cel puțin egală cu R_p ;
- Z este un coeficient care se alege din tabelul 2, STAS 8068 în funcție de nivelul de încredere, presupunând că repartiția elementelor colectivității statistice este normală.

Valoarea limitei de curgere este dată de relația:

$$R_e = \bar{R}_e - 2s \quad (3.12)$$

unde:

- $\bar{R}_e$ este media aritmetică a valorilor limitei de curgere obținute din încercările efectuate;
- s reprezintă abaterea medie pătratică standard.

Raportul de încercare

Raportul de încercare trebuie să conțină cel puțin următoarele informații:

- ◆ norma tehnică care stă la baza încercării;
- ◆ natura materialului;
- ◆ caracteristicile epruvetei;
- ◆ orientarea și direcția prelevării epruvetelor;
- ◆ caracteristicile determinate și rezultate.

Datele privind încercarea la tracțiune pot fi centralizate în tabelul 3.5 și pe baza lor se pot calcula caracteristicile mecanice ale materialului supus la tracțiune.

Tabelul 3.5. Date privind încercarea la tracțiune.

Numărul epruvetei	Dimensiuni inițiale	Aria secțiunii inițiale S_0 [mm ²]	Forța de curgere aparentă F_e [N]	Forța maximă F_{max} [N]	Limita de curgere aparentă R_e $R_e = F_e / S_0$ [N/mm ²]	Rezistența la tracțiune $R_m = F_{max} / S_0$ [N/mm ²]	Lungimea inițială L_0 [mm]	Lungimea ultimă L_u [mm]	Alungire după rupere $A = [(L_u - L_0) / L_0] \cdot 100$	Dimensiuni ultime [mm]	Aria secțiunii după rupere S_u [mm ²]	Coefficient de gătuire $Z = [(S_u \cdot S_0) / S_0] \cdot 100$
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

3.1.2. Încercarea la tracțiune a cablurilor de oțel

Prin încercarea la tracțiune se poate determina ruperea cablului întreg sau ruperea cablului fir cu fir (STAS 2172-84).

În primul caz, sarcina de tracțiune se aplică asupra unei epruvete prelevate din cablu și se înregistrează sarcina efectivă în momentul ruperii primului toron din cablu.

În cel de-al doilea caz, încercarea constă în aplicarea unei sarcini de tracțiune până la rupere, asupra fiecărei sârme active componentă a cablului și determinarea sarcinilor de rupere individuale ale firelor.

Sarcina de rupere a cablului se calculează prin însumarea aritmetică a sarcinilor de rupere individuale.

3.1.2.1: Epruvete pentru încercare

Epruveta se obține prin tăierea unui segment de cablu de probă, pe care s-au montat brățări de fixare (fig.3.10).

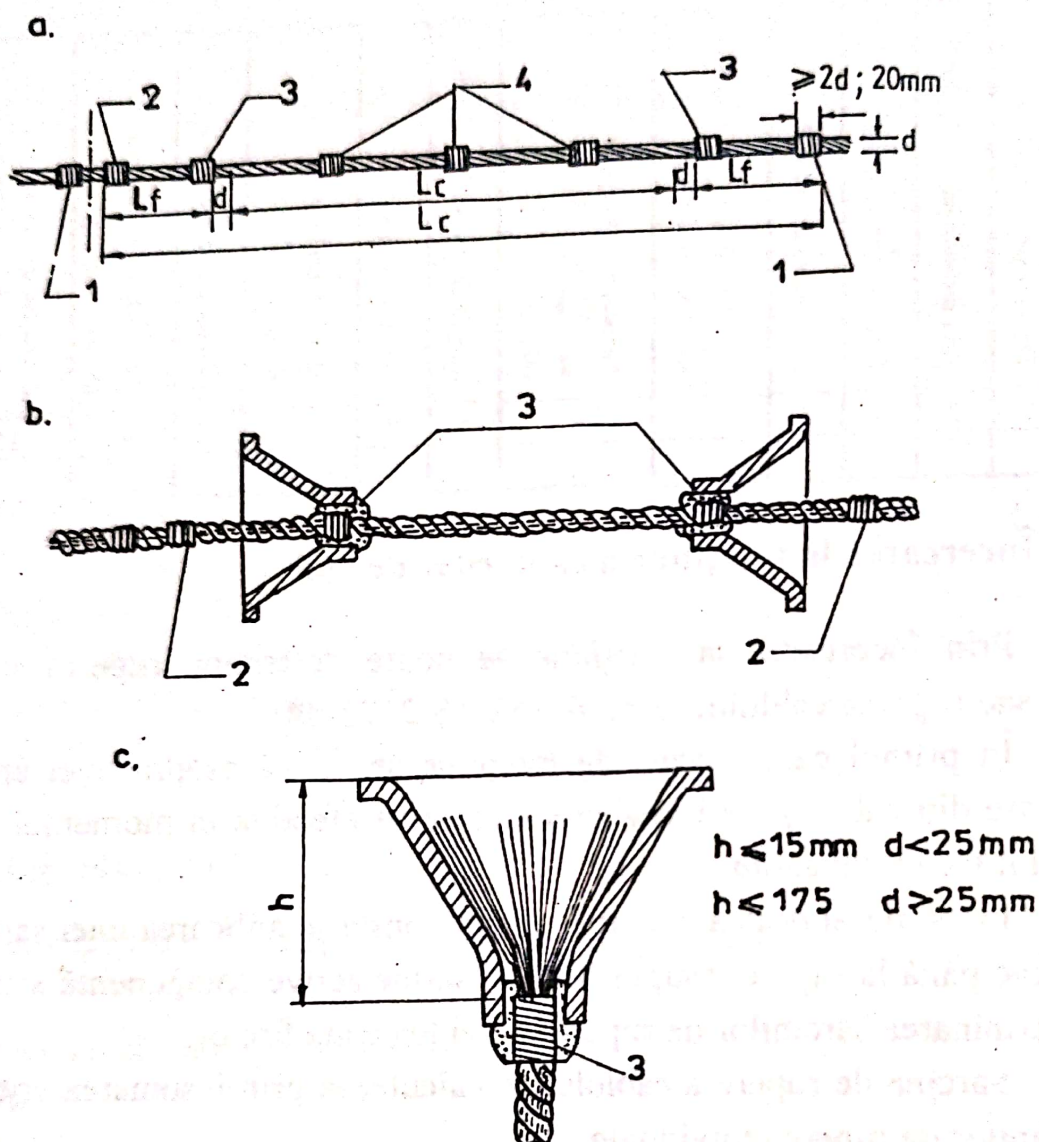


Fig. 3.10. Epruvete pentru încercarea cablurilor: a-epruveta prelevată din cablu de probă; b, c-capetele de fixare ale epruvetei; 1-brățară de fixare; 2-brățară de capăt; 3-brățară pentru limitarea lungimii; 4-brățară de solidarizare.

Epruveta trebuie să prezinte o toronare regulată, fără defecte vizibile, care ar putea influența rezultatele încercării.

Lungimea totală a epruvetei va fi:

$$L_1 = L_c + 2d + 2L_f \text{ [mm]} \quad (3.13)$$

în care:

- L_c lungimea minimă de încercare considerată astfel:

$$\begin{aligned} L_c &\geq 30 \text{ mm} && \text{dacă} && d \leq 6 \text{ mm}, \\ L_c &\geq 600 \text{ mm} && \text{dacă} && 6 \text{ mm} < d \leq 20 \text{ mm}, \\ L_c &\geq 30 d && \text{dacă} && d > 20 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Capetele de fixare ale epruvetei se realizează prin turnare în pâlnii (fig. 3.10, b, c) și se execută în felul următor:

- capetele epruvetei, cu brățărilor de fixare care reprezintă legăturile de capăt, se introduc prin orificiile mici ale pâlniilor;
- se desfac legăturile de capăt, se răsfiră firele toroanelor în formă conică și se extrag inimile vegetale pe porțiunea desfăcută;
- capetele sârmelor răsfirate se pot îndoi în vederea încastrării în pâlnii, fără ca această îndoire să fie o condiție obligatorie;
- sârmele desfăcute se spală în benzină și se decapează într-o soluție de 75% clorură de zinc, 25% acid clorhidric. Apoi se introduc în apă fiartă, alcalinizată cu bicarbonat de sodiu;
- se așază pâlnia cu 5..10 mm peste marginea brățării, care limitează lungimea epruvetei, se umple spațiul dintre pâlnie și cablu cu argilă presată sau ipsos, menținând cablul în poziție centrică (fig. 3.10, c);
- se toarnă în pâlnia așezată vertical, până la completa acoperire a sârmelor răsfirate, zinc topit sau un aliaj calitativ corespunzător, suficient de rezistent pentru a nu fi tăiat de sârme în timpul încercării. După solidificarea metalului turnat, se cufundă pâlnia în apă rece.

3.1.2.2. Executarea încercării prin ruperea cablului întreg

După fixarea epruvetei în mașina de încercat, se poate aplica rapid o sarcină de max. 80% din sarcina reală minimă de rupere calculată a cablului respectiv. Apoi, aplicarea sarcinii se face lent, continuu, progresiv și fără șocuri, cu o viteză de 10 N/mm^2 .

Sarcina efectivă de rupere a cablului este indicată de mașină în momentul ruperii primului toron. Dacă ruperea cablului se produce la o distanță mai mică de 50 mm de una din pâlniile epruvetei, încercarea se consideră valabilă numai dacă sarcina de rupere reală minimă a fost atinsă. În caz contrar, încercarea nu se ia în considerare.

Pentru determinarea alungirii, se tensionează cu 10% din încărcarea reală minimă la rupere calculată a cablului, după care se marchează pe cablu lungimea de referință. Se citesc lungimile între reperele respective la trepte de încercare, din 10 în 10% până la 60% din sarcina reală minimă de rupere calculată a cablului.

Buletinul de încercare va cuprinde:

- ◆ tipul constructiv, inclusiv descrierea construcției cablului;
- ◆ diametrul cablului;
- ◆ sensul de înfășurare;
- ◆ sarcina reală minimă de rupere calculată;
- ◆ sarcina efectivă de rupere, indicată de mașină la ruperea cablului întreg sau sarcina calculată de rupere la ruperea fir cu fir a cablului sau a toroanelor;
- ◆ modul în care s-a efectuat încercarea (ruperea cablului întreg, fir cu fir sau a toroanelor);
- ◆ alungirea sub sarcină și alungirea remanentă.

3.2. ÎNCERCĂRI PENTRU DETERMINAREA TENACITĂȚII OȚELULUI

Datorită faptului că ruperile fragile sunt deosebit de periculoase, încercările statice au fost completate cu încercări dinamice prin șoc prin care se poate evidenția stabilitatea la rupere fragilă a oțelului în condiții apropiate celor din exploatare.

Ruperea fragilă este caracterizată printr-o viteză mare de propagare a fisurii, fără a se produce o deformare globală, ci doar o deformare plastică locală nesemnificativă. Acest tip de cedare se produce când deformările elastice ale materialului devin superioare sarcinii de rupere, în condiții când deplasările plastice sunt împiedecate. O fisură constituie un pol de atracție pentru tensiuni; energia cinetică eliberată în momentul formării unei fisuri este într-un anumit fel concentrată la extremitatea fisurii, apoi restituită pentru a învinge rezistența materialului. Dacă această rezistență este relativ mare (metal ductil), fisura nu se mai propagă; în caz contrar, fisura avansează și produce o rupere bruscă.

Rezultatele încercărilor de reziliență stau la baza stabilirii clasei de calitate a unui oțel. Această încercare este importantă îndeosebi pentru structurile solicitate dinamic și în mediul exterior (poduri, căi de rulare, ș.a.), pentru care pot fi alese oțeluri de calitate superioară, cu o comportare sigură în condiții dificile de exploatare.

3.2.1. Încercarea de încovoiere prin șoc ~~X~~

3.2.1.1. Generalități

Încercarea la încovoiere prin șoc (reziliența) permite aprecierea tenacității oțelurilor prin capacitatea acestora de a se opune ruperii fragile

cauzate de concentrația chimică necorespunzătoare, fenomene de îmbătrânire, stări complexe de solicitare, concentrări de tensiuni, temperaturi scăzute de exploatare, încărcări aplicate dinamic, ș.a..

Încercarea de încovoiere prin șoc se poate efectua la temperatura normală (+20°C, STAS 6300-81), sau la temperaturi mai coborâte (până la -196°C, STAS 6833-79) pentru materialele în stare de livrare după îmbătrânirea artificială. Pentru acest motiv sunt mai multe prescripții oficiale (STAS 1400-75, STAS 6833-79, STAS 7400-79, STAS 6774-79), care se vor consulta în cazuri speciale.

Încercarea de încovoiere prin șoc constă în ruperea dintr-o singură lovitură cu un pendul a unei epruvete cu o creștătură la mijloc, așezată liber pe două reazeme. În țara noastră, încercarea se execută pe epruvete cu creștătură în V, conform STAS 7511-81 și SR EN 10045/1-1993, pe care se măsoară energia consumată la rupere W_e , neglijându-se pierderile de energie prin frecare, vibrații și deformări elastice ale aparatului.

3.2.1.2. Epruvete pentru încercare

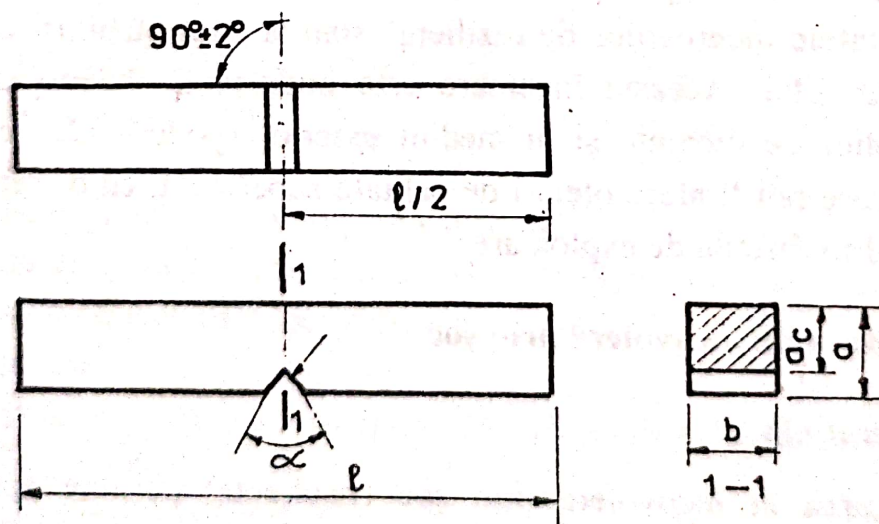


Fig. 3.11. Epruvetă cu creștătura în V, conform STAS 7511-81.

3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR

Pentru stabilirea clasei de calitate a oțelurilor (STAS 500/2-80) se impune folosirea epruvetelor cu creștătura în formă de V (fig. 3.11), cu dimensiunile arătate în tabelul 3.6.

Tabelul 3.6. Dimensiuni ale epruvetelor cu creștătură în V.

DIMENSIUNI		Simbol	Valoarea nominală [mm]	Abateri limită
Lungime		l	55	$\pm 0,60$
Lățime	Epruvete normale	b	10	$\pm 0,10$
	Epruvete subțiri		7,5	$\pm 0,10$
Înălțime		a	10	$\pm 0,06$
Unghiul creștăturii		α	45°	$\pm 2^\circ$
Înălțimea epruvetei la baza creștăturii		a_c	8	$\pm 0,06$
Raza de curbură la baza creștăturii		R_c	0,25	$\pm 0,025$
Distanța de la planul de simetrie al cusăturii și unul din capetele epruvetei		l/2	27,5	$\pm 0,42$
Unghiul dintre planul de simetrie al cusăturii și axa longitudinală a epruvetei		-	90°	$\pm 2^\circ$

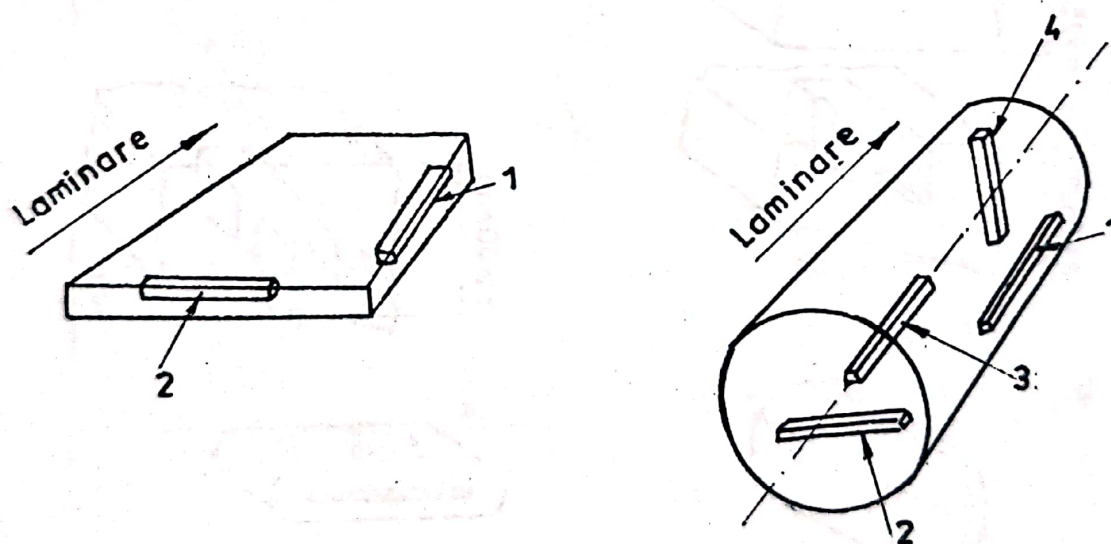


Fig. 3.12. Orientarea față de axa probelor a epruvetelor prelevate pentru încercare: 1-longitudinală; 2-transversală; 3-axială; 4-radială.

Prelevarea și prelucrarea epruvetelor necesită o grijă deosebită și se execută numai prin așchiere. Crestăturile se execută cu freza de profil. Poziția epruvetei în secțiunea probei este indicată în STAS 7324-75; în figurile 3.12 și 3.13 sunt prezentate exemple de prelevări de epruvete.

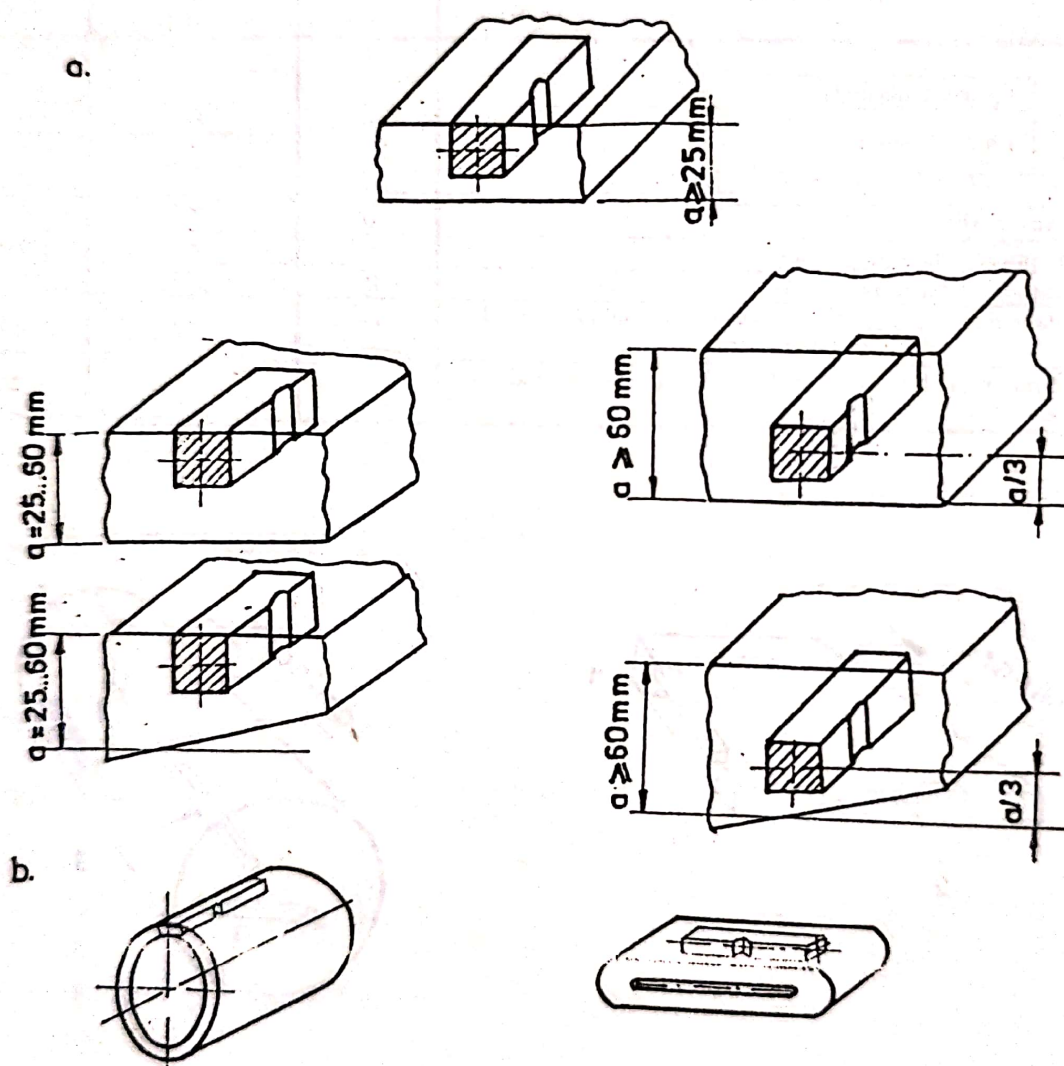


Fig. 3.13. Exemple de prelevare a epruvetelor: a-din benzi; b-din țevi.

Planul de simetrie al creștăturii trebuie să fie perpendicular pe axa longitudinală a epruvetei.

3.2.1.3. Utilajul folosit pentru executarea încercării

Utilajul utilizat pentru încercare este ciocanul pendul Charpy (STAS 7238-80) din figura 3.14, alcătuit dintr-o greutate G (1) suspendată printr-o tijă cu un ax articulat pe coloana verticală încastrată într-un batiu rigid.

Aparatul este prevăzut cu un dispozitiv de blocare a pendulului în poziția de lansare și cu un cadran cu indicator (2).

La partea inferioară este dispozitivul de rezemare al epruvetei (3) și frâna manuală (4).

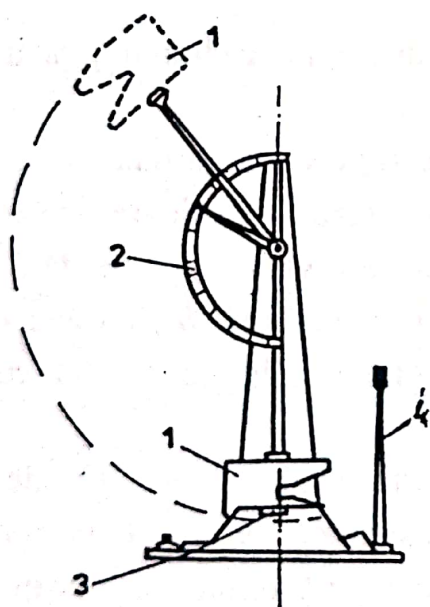


Fig. 3.14. Pendulul Charpy:
1-greutate G ; 2-cadran indicator;
3- dispozitiv de rezemare epruvetă;
4- frână manuală.

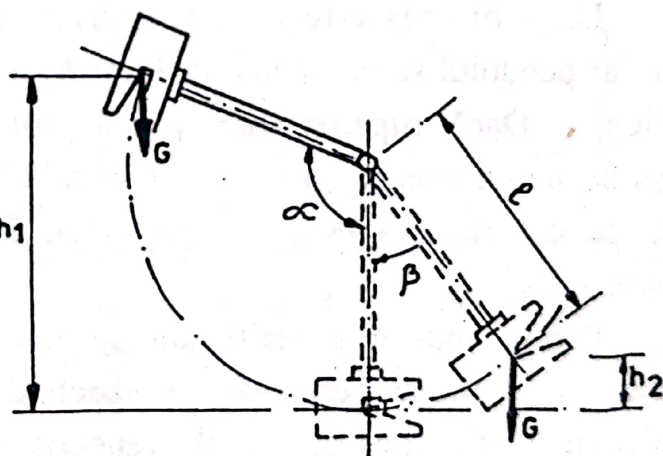


Fig. 3.15. Schema de încercare la încovoiere prin șoc.

Pendulul cade de la o înălțime h_1 prestabilită și lovește epruveta așezată liber pe reazemele prevăzute pe batiu. O parte din energia cinetică a pendulului este consumată pentru ruperea epruvetei, restul fiind folosită de acesta pentru a se ridica la înălțimea h_2 (fig. 3.15).

Energia consumată pentru ruperea epruvetei este dată de relația:

$$W_e = W_1 - W_2 = G \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha) = G(h_1 - h_2) \quad (3.14)$$

unde :

$$W_1 = G \cdot l (1 - \cos \alpha) = G \cdot h_1 \quad (3.15)$$

$$W_2 = G \cdot l (1 - \cos \beta) = G \cdot h_2 \quad (3.16)$$

În relația (3.14), W_1 este energia potențială a pendului în poziția inițială, prestabilită (de preferință de 300 ± 10 J), W_2 este energia potențială a pendulului în poziția finală.

Energia de rupere W_e [J] se citește direct pe cadranul gradat al aparatului.

Dacă ruperea este tenace, epruveta se rupe cu deformații plastice mari, iar pendulul se ridică la o înălțime h_2 mică; rezultă o valoare ridicată a rezilienței. Dacă ruperea este fragilă, atunci epruveta se rupe fără să consume multă energie și pendulul se ridică la o înălțime h_2 , cu atât mai mare cu cât ruperea este mai pronunțat fragilă (reziliența rezultă cu o valoare mică).

Pentru indicarea rezilienței se folosește simbolul KV (K de la denumirea în limba germană - Kerbschlagfestigkeit, iar V de la forma creștăturii), urmat de valorile W_1 (energia potențială inițială a ciocanului pendul, în J) și b (lățimea epruvetei, în mm) separate printr-o linie oblică:

$$KV_{W_1/b} = W_e \text{ [J]} \quad (3.17)$$

Pentru încercări normale ($W_1 = 300$ J și $b = 10$ mm), indicarea rezilienței se face numai prin simbolul KV .

Datorită unor defecte în structura oțelului (incluziuni, pori, microfisuri) care pot fi localizate în vârful creștăturii epruvetei, cât și imposibilității de realizare a unor creștături perfect identice, valorile reziliențelor pe epruvete identice obținute din același element, prezintă împrăștiere destul de mari.

În practică se determină valoarea rezilienței ca medie a trei încercări. Rezultatele se consideră satisfăcătoare dacă:

$$K_{\min} \geq 0,75 K_{\text{med}} \quad (3.18)$$

În caz contrar, încercările se refac.

3.2.1.4. Executarea încercării

Prin încercarea de încovoiere prin șoc se determină energia consumată (W_e) la ruperea epruvetei în scopul aprecierii tenacității oțelului și stabilirii clasei de calitate.

După verificarea dimensiunilor epruvetelor și a temperaturii de încercare (STAS 6300-81), se verifică pierderile de energie ale pendulului astfel:

- Se ridică pendulul până la poziția limită și se blochează. Acul cadranelui se va așeza astfel încât să indice energia $W_{\max}$. Se verifică dacă frâna manuală este scoasă din lucru (brațul deplasat spre stânga).
- Se îndepărtează persoanele din apropierea pendulului la distanța minimă de 1m pentru a evita lovirea lor de către pendul sau de epruveta ruptă și antrenată de aceasta.
- Se deblochează piedica, lăsând pendulul să cadă în gol. Ridicându-se de cealaltă parte a axei verticale la o înălțime aproximativ egală cu cea inițială, pendulul va antrena odată cu el și acul indicator de pe cadran. Se oprește pendulul din oscilații deplasând frâna manuală spre dreapta și se

citește în dreptul acului indicator energia consumată prin frecare care nu trebuie să depășească 0,5% din energia potențială inițială (W_1).

- Se așează epruveta pe dispozitivul de rezemare astfel încât greutatea pendulului să lovească fața opusă a creștăturii, în planul de simetrie a acesteia. Deplasarea axei creștăturii față de muchia de lovire trebuie să fie mai mică de 0,5 mm.
- Se ridică pendulul în poziția de lansare, se blochează și se aduce acul indicator în dreptul indicației maxime a cadranului.
- Se deblochează pendulul care, în ciocnire liberă, va trebui să rupă epruveta dintr-o singură lovitură. Epruveta se consideră ruptă chiar dacă ruperea nu s-a produs pe întreaga secțiune, dar a fost antrenată de pendul dincolo de reazeme.
- Se oprește pendulul din oscilație și se citește energia consumată la rupere (W_e).

Aceste operații se repetă pentru fiecare epruvetă încercată. Rezultatele încercării se înscriu în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7. Tabel pentru înscrierea rezultatelor încercării de reziliență.

Marca și starea materialului	Marca de identificare a epruvetei	Indicații de prelevare	W_1 [J]	W_2 [J]	KV (W_e) [J]	Caracterul ruperii	
						Completă	Parțială
							C_r
							F_b

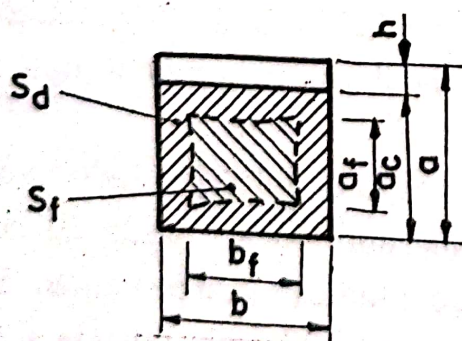


Fig. 3.16. Secțiunea de rupere a epruvetei.

Energia consumată se exprimă cu o precizie de 2 J pentru $KV \leq 100$ J și de 5 J pentru $KV > 100$ J.

Se examinează aspectul secțiunii de rupere și se măsoară dimensiunile secțiunii de rupere fragilă (fig.3.16).

Se apreciază ponderea porțiunii fibroase a secțiunii rupte. Standardul 10026-75 prezintă o metodă de apreciere a caracterului tenace (fibrozitatea, %) la ruperea unei epruvete cu lățimea $b = 10 \text{ mm}$ și cu creștătura în V , de adâncime 2 mm (fig. 3.17).

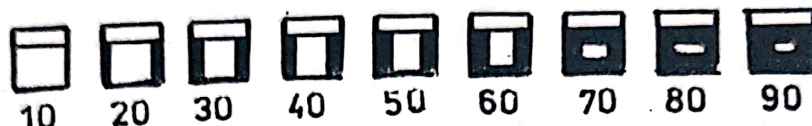


Fig. 3.17. Secțiuni de rupere ale epruvetei cu $b = 10 \text{ mm}$ și $h = 2 \text{ mm}$, cu indicarea fibrozității (%).

Sunt utilizate noțiunile:

- **cristalinitate** C_r , ca fiind raportul între aria rupturii cristaline și aria secțiunii epruvetei:

$$C_r = (S_f / S_o) \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.19)$$

- **fibrozitate** F_b , ca fiind raportul între aria rupturii fibroase și aria secțiunii epruvetei:

$$F_b = (S_d / S_o) \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.20)$$

În relațiile 3.19 și 3.20 sunt utilizate notațiile:

- S_o este aria secțiunii inițiale transversale a epruvetei în dreptul planului de simetrie al creștăturii:

$$S_o = b \cdot a_c \quad (3.21)$$

- S_f este aria porțiunii din ruptură cu aspect cristalin strălucitor, fără deformări:

$$S_f = a_f \cdot b_f \quad (3.22)$$

În majoritatea cazurilor, S_f este porțiunea centrală a rupturii.

- S_d este aria porțiunii de ruptură cu aspect cristalin mat, cu deformări plastice:

$$S_d = S_o - S_f \quad (3.23)$$

Pentru stabilirea mărimilor prezentate se folosesc tabelele 3.8 și 3.9, epruvetele având $h = 2$ mm.

Tabelul 3.8. Cristalinitatea (%) la epruvete cu $h = 2$ mm.

a_r / b_r	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
1,0	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	12
1,5	2	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2,0	2	4	5	6	8	9	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	23	24	25
2,5	3	5	6	8	9	11	12	14	16	17	19	20	22	23	25	27	28	30	31
3,0	4	6	8	9	11	13	15	17	19	21	23	24	26	28	30	32	34	36	38
3,5	4	7	9	11	13	15	18	20	22	24	26	28	31	33	35	37	39	42	44
4,0	5	8	10	12	15	18	20	25	25	28	30	33	35	38	40	43	45	48	50
4,5	6	8	11	14	17	20	23	25	28	31	34	37	39	42	45	48	51	54	56
5,0	6	9	12	15	19	22	25	28	31	34	38	41	44	47	50	53	56	59	63
5,5	7	10	14	17	21	24	28	31	34	38	41	45	48	52	55	58	62	65	69
6,0	8	11	15	19	23	26	30	34	38	41	45	49	53	56	60	64	67	71	75
6,5	8	12	16	20	24	28	33	37	41	45	49	53	57	61	65	69	73	77	81
7,0	9	13	18	22	26	31	35	39	44	48	53	57	61	66	70	74	79	83	88
7,5	9	14	19	23	28	33	38	42	47	52	56	61	66	70	75	80	84	89	94
8,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	10

Tabelul 3.9. Fibrozitatea (%) la epruvete cu $h = 2$ mm.

a_r / b_r	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
1,0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1,5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2,0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2,5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3,0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3,5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4,0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4,5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5,0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5,5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6,0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6,5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7,0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7,5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8,0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

✓ **OBSERVAȚIE:** Pentru stabilirea clasei de calitate a oțelurilor de uz general pentru construcții, se încearcă la încovoiere prin șoc cel puțin trei epruvete decupate din același element, pentru fiecare 40 tone de produse sau fracțiuni până la 40 tone.

Valoarea garantată a energiei de rupere KV de 27 J se referă la epruvete longitudinale cu secțiunea de 10×10 mm, prelevate din produse cu diametre sau grosimi sub 100 mm și reprezintă media valorilor individuale, dintre care nici una nu trebuie să fie sub 21 J.

În funcție de rezultatele KV obținute la încercarea de reziliență, pe epruvete cu creștătura în V, oțelurile, indiferent de marca lor, se clasifică în clasele de calitate menționate în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10. Clase de calitate ale oțelurilor.

Clasa de calitate	1	2	3	4	5	6	7
Energia de rupere KV=27 J, pe direcția longitudinală, la temperatura, °C	-	+20	0	-20	-30	-40	-50

3.2.2. Încercarea de încovoiere prin șoc după îmbătrânire artificială

Proprietățile plastice ale oțelului sunt influențate de compuşii rezultați din precipitări care au ca efect ridicarea domeniului elastic. Acest fenomen care apare în timp, favorizat fiind de suprasolicitări, variații de temperatură, încărcări repetate, se numește *îmbătrânire*.

Îmbătrânirea metalelor este un proces de modificare a proprietăților acestora, fără o variație sensibilă a macrostructurii.

Îmbătrânirea mărește rezistența mecanică a metalului, diminuând plasticitatea și ductilitatea, deci fragilizându-l.

Sensibilitatea la îmbătrânire a oțelului poate fi stabilită pe baza încercării la încovoiere prin șoc (STAS 6774-85).

Încercarea constă în îmbătrânirea artificială a oțelului, prin deformare plastică la rece, urmată de încălzire la temperatura de 250 °C timp de 60 min și determinarea rezilienței după îmbătrânire. După încercare se compară rezultatele obținute cu valoarea rezilienței oțelului în stare inițială.

Dimensiunile probelor sunt arătate în figura 3.18.

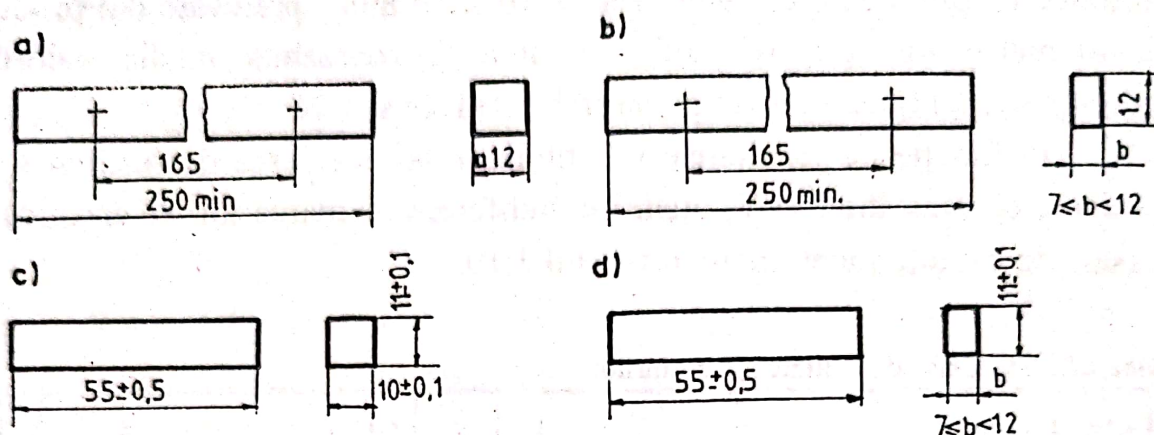


Fig. 3.18 Probe pentru încercarea la încovoiere prin șoc: a, b-îmbătrânirea oțelului prin deformare plastică la rece prin întindere; c, d-îmbătrânirea oțelului prin deformare plastică la rece prin compresiune.

Operația de deformare plastică prin întindere se execută astfel: se lungesc probele din fig. 3.18, a și b pentru a obține o alungire remanentă de $10 \pm 0,5\%$ pentru oțeluri carbon și $5 \pm 0,5\%$ pentru oțeluri slab aliate; distanța finală între repere rezultă de $181,5 \pm 0,8$ mm și respectiv de $173,2 \pm 0,8$ mm.

Pentru deformarea plastică prin compresiune se așază probele din figura 3.18, c și d, simetric față de axa mașinii de încercare între două matrițe astfel încât forța de compresiune să fie aplicată perpendicular pe suprafața de laminare. Se reduce înălțimea probei prin compresiune lentă, pentru a obține o deformare remanentă de minim $7 \pm 0,7\%$.

Probele deformate plastic la rece se introduc într-un cuptor încălzit în prealabil la $250 \pm 10^\circ\text{C}$ timp de 60 min.

Se răcesc apoi în aer liniștit, lipsit de curent.

Crestătura epruvetelor va fi orientată perpendicular pe suprafața de laminare.

Sensibilitatea la îmbătrânire a oțelului, C, se determină cu relația:

$$C = \frac{KC - KC_1}{KC} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.24)$$

în care:

- KC este media aritmetică a valorilor rezilienței determinate pe epruvete (minim trei) în stare inițială;
- KC₁ este media aritmetică a valorilor rezilienței determinate pe epruvete (min. trei) în stare îmbătrânită.

Sunt comparabile numai rezultatele obținute la încercarea epruvetelor de același tip.

Buletinul de încercare va cuprinde:

- ♦ marca oțelului;
- ♦ marcarea epruvetelor (de identificare);
- ♦ modul de prelevare a epruvetelor;
- ♦ modul de deformare plastică la rece;
- ♦ dimensiunile epruvetei (lățimea, adâncimea creștăturii), dacă nu sunt conținute în notarea rezilienței;
- ♦ energia potențială inițială a ciocanului-pendul;
- ♦ durata încălzirii dacă depășește 60 min;
- ♦ valorile energiei de rupere obținute, individuale și media lor aritmetică;
- ♦ sensibilitatea la îmbătrânire.

3.3. ÎNCERCAREA DURITĂȚII PRIN METODA BRINELL

3.3.1. Generalități

Duritatea unui material este definită în tehnică ca fiind rezistența opusă acțiunii de pătrundere mecanică a unui corp mai dur din exterior (penetrator).

Metoda Brinell este una dintre cele mai utilizate pentru determinarea durității metalelor netratate termic și a aliajelor cu durități medii și reduse (duritate $\leq 450\text{HB}$) și folosește ca penetrator o bilă din oțel dur cu suprafața polizată fin, care poate avea, conform STAS 165-83, următoarele diametre: $D = 10; 5; 2,5; 2$ și 1 mm .

Pentru metale dure și foarte dure măsurarea durității se poate face cu metodele : Brinell (utilizând o bilă penetrator din carbură de wolfram pentru durități $\leq 650\text{HB}$, sau din alte metale), Rockwell (STAS 403-81, STAS 8251-82, STAS 8525-84, STAS 10703-86), Vickers (STAS 492/1-85), Martens, ș.a.

3.3.2. Principiul încercării

Încercarea de duritate Brinell este o metodă statică de încercare și constă în apăsarea cu o forță F a unei bile cu diametrul prescris D , perpendicular pe suprafața piesei de încercat. Acțiunea locală a bilei provoacă în straturile superficiale ale piesei o stare neuniformă de tensiuni, în vecinătatea locului de contact (fig. 3.19).

La un metal mai puțin dur, sub urma lăsată de bilă, materialul se deformează plastic (zona I, fig. 3.19, a) pe o adâncime mai mare decât la unul mai dur (fig. 3.19, b), pentru aceleași valori ale lui F și D .

3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR

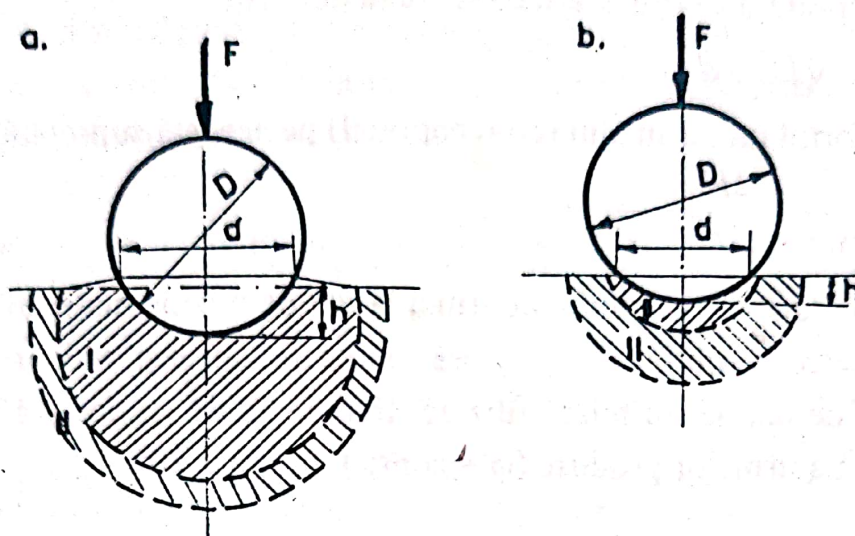


Fig. 3.19. Starea de tensiune în vecinătatea locului de contact a bilei cu piesa metalică:
a-metal moale; b-metal dur; I-zona de deformare plastică; II-zonă de deformare elastică.

Aceasta se explică prin faptul că metalele mai dure au limita de curgere $R_{p0,2}$ mai apropiată de limita lor de rupere R_m , comparativ cu metalele moi. Din această cauză, adâncimea h a urmei lăsată de bilă este mai mică la metalul dur decât la metalul moale; deformarea elastică a primului dispare după întreruperea forței de apăsare a bilei. Mărimea urmei lăsată de bilă, depinde de mărimea diametrului D , de proprietățile mecanice ale materialului bilei, finețea suprafeței sale, mărimea încărcării F aplicată pe bilă, viteza și timpul de aplicare, omogenitatea materialului piesei încercate, ș.a..

Valoarea durtății Brinell este dată de raportul între forța F de apăsare pe bilă (în daN) și suprafața calotei sferice a urmei remanente după îndepărtarea bile, S :

$$HB = (c \cdot F) / S \quad [\text{unități Brinell}] \quad (3.25)$$

unde c este o constantă: $c = 1/g = 1/9,80665 = 0,102$

Suprafața calotei sferice este dată de relația:

$$S = D(D - \sqrt{D^2 - d^2})/2 \quad (3.26)$$

Efortul unitar mediu (convențional) pe această suprafață este:

$$HB = c \cdot \frac{2F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (3.27)$$

unde d este diametrul minim al urmei lăsată de bilă pe material.

Pentru a obține la o piesă oarecare aceeași valoare a durtății, indiferent de diametrul bilei utilizate, trebuie să fie respectată similitudinea geometrică a urmelor produse ($\varphi = \text{const.}$), figura 3.20.

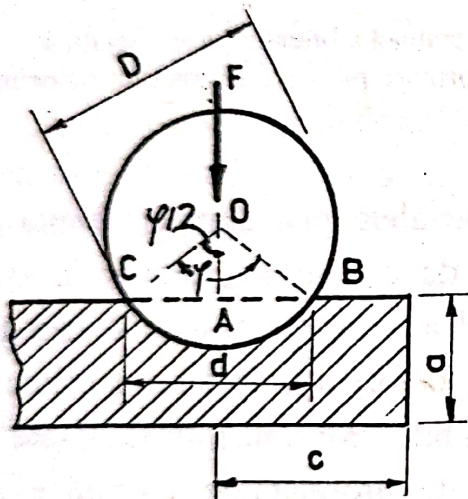


Fig. 3.20. Elemente geometrice pentru stabilirea unei aceeași valori a durtății, indiferent de diametrul bilei utilizate.

Din triunghiul COA rezultă:

$$D/2 \sin \Phi/2 = d/2 \quad \text{și} \quad d = D \sin \Phi/2 \quad (3.28)$$

care introdus în relația 3.27, dă:

$$HB = c \cdot \frac{2F}{D^2(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \Phi/2})} \quad (3.29)$$

din care se deduce concluzia că vom obține aceeași duritate pentru un același material, utilizând bile cu diametre diferite, dacă păstrăm raportul F/D^2 constant.

3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR

Raportul $k = c \cdot (F / D^2)$ este denumit **grad de solicitare** și are următoarele valori standardizate: 30; 15; 10,5; 2,5; 1,25 și 1.

Gradele de solicitare recomandate pentru încercarea diferitelor metale și aliaje sunt prezentate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11. Gradul de solicitare pentru diferite materiale

Gradul de solicitare k	30	15	10	5	2,5	1,25	1
Intervalul acoperit HB	67 - 450	67 - 450	22 - 315	11 - 158	6 - 78	3 - 39	3 - 39
Recomandat la încercarea materialului	Materiale feroase, oțel îmbunătățit, aliaje dure, oțel, fonte, aliaje titan, aliaje termorezistente cu Ni și CO, aliaje dure de metale neferoase	Materiale feroase, fonte, aliaje dure și metale neferoase	Metale ușoare, aliaje din metale ușoare, cupru, aliaje cupru - zinc, aliaje cupru - staniu și nichel	Aluminiu pur, magneziu, aliaje cupru - staniu	Aliaje de antifricțiune	Plumb, staniu, metale moi	Plumb, staniu, metale moi

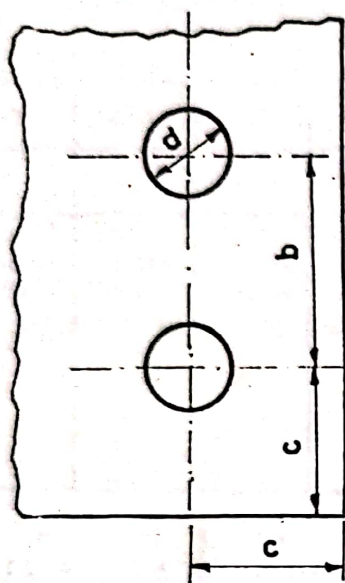
În vederea simplificării obținerii valorii durtății, în STAS 165-83 se dau tabelele din care se aleg forțele de încercare în funcție de diametrul bilei penetrator și a gradului de solicitare (tab. 3.12).

Tabelul 3.112. Forțe de încercare în funcție de diametrul bilei și de gradul de solicitare.

Diametrul bilei D [mm]	Gradul de solicitare, k						
	30	15	10	5	2,5	1,25	1
	Forța de încercare, F						
10	29,42 kN	14,71 kN	9,807 kN	4,903 kN	2,452 kN	1,226 kN	980,7 N
5	7,355 kN	-	2,452 kN	1,226 kN	612,8 N	306,5 N	245,2 N
2,5	1,839 kN	-	612,9 N	306,5 N	153,2 N	76,61 N	61,29 N
2	1,177 kN	-	392,3 N	196,1 N	98,07 N	49,03 N	39,23 N
1	294,2 N	-	98,07 N	49,03 N	24,52 N	12,26 N	9,807 N

Eroarea admisibilă a forțelor este de max. 1%. Diametrul bilei și forța F corespunzătoare pentru un metal oarecare trebuie luate astfel încât:

$$0,25 D < d < 0,60 D \quad (3.30)$$



În cazul când, după o încercare, aceasta condiție nu este îndeplinită, se schimbă diametrul bilei sau forța aplicată pe ea, sau ambele, și se refăce încercarea.

Piesa de încercat trebuie să aibă suprafața de încercare plană, pe o porțiune de minim $2,5 d$ de la marginea urmei (fig. 3.21- tab. 3.13).

Fig. 3.21. Distanțe între urme și marginile piesei.

Tabelul 3.13. Durata de menținere a forței și distanța necesară între urmele bilei

Duritatea Brinell HB	Durata de menținere a forței [s]	Distanța minimă	
		b	c
Peste 100	10... 15	4d	2,5d
36... 100	27... 33	4d	2,5d
10... 35	115... 125	6d	3d
Sub 100	170... 190	6d	3d

Suprafața piesei va fi lipsită de impurități (zgură, ulei, rugină, etc.); ea nu trebuie să prezinte incluziuni, porozități, etc. Grosimea minimă a piesei de încercat t , trebuie să fie de minim 8 ori adâncimea urmei h . Aflând printr-o încercare informativă duritatea HB a metalului studiat, grosimea probei se află cu relația:

$$h \geq c \cdot \frac{F}{\pi} \cdot D \cdot HB \quad (3.31)$$

Pentru indicarea valorii durității Brinell obținută cu bila de diametru $D = 10$ mm, forța $F = 2942$ daN și timpul de menținere a forței de $10 \div 15$ sec., se folosește simbolul HB neafectat de alte cifre. Pentru alte condiții de încercare, simbolul HB se completează cu trei indici reprezentând: diametrul D al bilei (mm), forța F (daN), timpul de menținere a forței (sec.). Astfel, notația 350 HB 5/750/30 reprezintă duritatea Brinell de 350 HB obținută cu o bilă penetrator având $D = 5$ mm și o forță $F = 735,5$ daN menținută timp de 30 sec. Durata de menținere a forței în funcție de duritatea Brinell este menționată în tabelul 3.13.

Cunoașterea durității pentru orice oțel este utilă deoarece permite aflarea comodă a rezistențelor sale de rupere la tracțiune cu relația:

$$R_m = 0,35 HB \quad (3.32)$$

3.3.3. Descrierea aparatului de încercare Brinell

Aparatele pentru determinarea durității Brinell sunt stabile sau portabile, de mai multe tipuri. Toate au însă aceleași părți principale: un batiu, un dispozitiv de producere a forțelor care determină pătrunderea penetratorului în material și o masă suport pe care sunt așezate piesele în vederea determinării durității acestora.

În figura 3.22 este prezentat un aparat stabil, frecvent utilizat în laboratoare. Se compune dintr-un batiu rigid (1) pe care este montat un electromotor (2) care, printr-un sistem de pârghii antrenează greutatea (3). Penetratorul (4) în care este montată bila (5), acționează asupra piesei de încercat (6) așezată pe reazemul (7) care poate fi ridicat sau coborât cu ajutorul unui fus filetat antrenat cu o roată de mână.

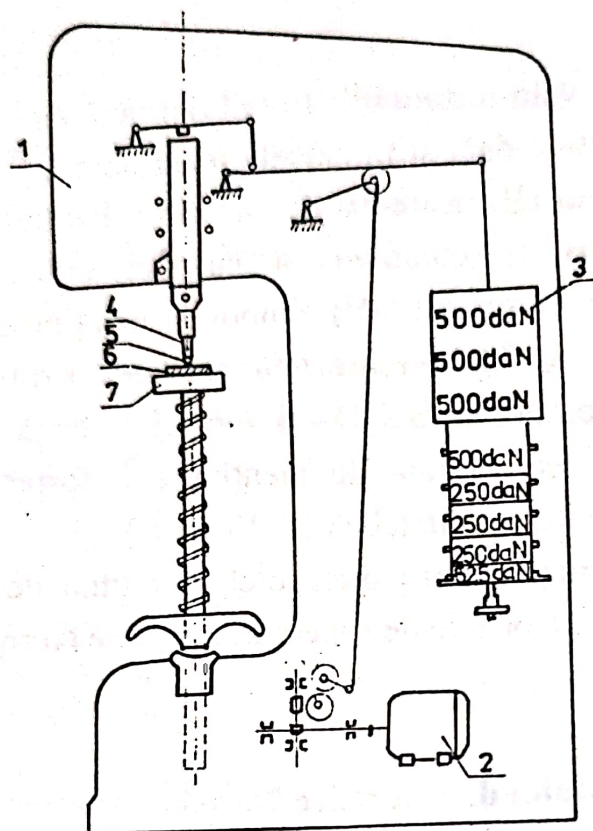


Fig. 3.22. Aparat stabil de încercare a durității Brinell: 1-batiu rigid; 2-electromotor; 3-pârghie; 4-penetrator; 5-bilă; 6-piesa de încercat; 7-reazem pentru probă.

Aparatul este prevăzut cu un întrerupător electric care permite pornirea mașinii, menținerea constantă a forței de apăsare a bilei asupra probei un anumit interval de timp și oprirea automată a motorului.

3.3.4. Mijloace de măsurare a diametrelor urmelor

Urmele lăsate de bilă pe piese sunt măsurate cu dispozitive optice: lupe, microscopie, proiectoare.

3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE OȚELURILOR

Lupele Brinell, cu mărimi de 10...12 X , sunt prevăzute cu scară gradată, valoarea unei diviziuni fiind de 0,1 mm..

Microscopale Brinell au scara gradată cu diviziuni de 0,1 mm, asigurând o apropiere de 0,01 mm. Pentru măsurarea diametrului bilei, se fixează un reper tangent la urmă.

Alegerea microscopelor se face în funcție de diametrul bilei și a urmei acesteia (tab. 3.14).

Tabelul 3.14. Mărimile recomandate pentru microscopale Brinell.

Diametrul bilei [mm]	Diametrul urnelor d [mm]	Mărirea, x	Eroarea tolerată [μm]
1,0	0,25 - 0,60	100 - 200	± 2,5
2,5	0,6 - 1,50	50 - 100	± 5,0
5,0	1,3 - 3,00	20 - 50	± 12,0
10,0	2,5 - 6,00	10 - 20	± 25,0

Proiectoarele de măsurare a urmelor sunt înglobate în unele tipuri de aparate pentru măsurarea durtății Brinell.

3.3.5. Executarea încercării pe aparatul din figura 3.22

- Se măsoară cu șublerul grosimea piesei. Alegerea diametrului d al bilei depinde de grosimea piesei, apreciind gradul de solicitare k , și deci forța $F = k \cdot D^2$, în funcție de natura materialului.
- Se montează bila în penetrator (4) și penetratorul în locașul său, strângându-se șurubul de fixare. Se pun greutatea (3) care asigură forța F . Se ține cont de faptul că pârghiile împreună cu tija și platanul ei produc o sarcină de 187,5 daN.
- Se așază piesa de încercat (6) pe platanul (7) folosindu-se eventual dispozitive de centrare. Se ridică platanul cu ajutorul fusului filetat până ce piesa de încercat vine în contact cu bila (5); se reglează până ce

reperul situat pe batiul aparatului vine la același nivel cu cel de pe suportul penetratorului realizându-se astfel o încărcare preliminară de 100 daN.

- Se apasă pe butonul de pornire, punând în funcțiune dispozitivul automat de aplicare lentă a încărcării. Electromotorul (2) va aplica forța F în mod automat, o va menține timpul necesar reglat în prealabil, va înlătura forța F și se va opri în mod automat.
- Se coboară fusul filetat pentru a îndepărta piesa de penetrator.
- Se ia piesa și se citește, cu lupa gradată sau cu microscopul, diametrul urmei lăsată de bilă după două direcții perpendiculare; cele două diametre măsurate nu trebuie să difere cu mai mult de 2%. Se face media celor două diametre măsurate și se citește în tabele valoarea durității HB.
- Pentru o piesă se fac minim trei determinări dacă standardul de produs nu prevede alte condiții.

3.3.6. Rezultatele încercării

Rezultatele se trec în tabelul 3.15.

Tabelul 3.14. Tabel pentru înscrierea rezultatelor încercărilor

Proba nr.	Calita-tea materia-lului	Grosimea probei [mm]	Încărcarea F [daN]	Diametrul bilei D [mm]	Diametrul urmei d [mm]		Suprafața calotei sferice S [mm ²]	Duritatea Brinell [HB]	R_m [daNm/m ²]
					Valori curente	Media			
1	OL								
2									
3									

Timpul de menținere a sarcinii este desecunde.

Se compară valoarea calculată cu cea din tabelul 5 din STAS 165-83.



ÎNCERCAREA METALELOR LA SOLICITARI VARIABILE. FENOMENUL DE OBOSEALĂ

4.1. DISTRUGEREA PRIN OBOSEALĂ A METALELOR

Sub acțiunea încărcărilor repetate, metalele se distrug într-un mod cu totul diferit de acela datorat unei suprasolicitări aplicate static. Distrugerea prin oboseală se produce la un nivel mai coborât al tensiunilor și numai după un număr de repetări a încărcării, în timp ce distrugerea la suprasolicitarea statică se produce în cursul unei singure încărcări cu perioadă de acțiune relativ scurtă.

4.2. PARAMETRI PRINCIPALI CARE INFLUENȚEAZĂ REZISTENȚA LA OBOSEALĂ A ELEMENTELOR METALICE

a. *Diferența de tensiuni*, $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ (fig. 4.1), este parametrul cu influența cea mai mare asupra rezistenței la oboseală a construcțiilor sudate.

Sudura introduce în element tensiuni reziduale de tracțiune (σ_r).

Comportarea unei fisuri este influențată în realitate de efectul cumulat al tensiunilor datorită solicitărilor axiale și al tensiunilor reziduale de întindere. Rezistența la oboseală poate fi majorată în anumite cazuri prin introducerea de tensiuni reziduale de compresiune prin tratamente amelioratoare efectuate după sudare.

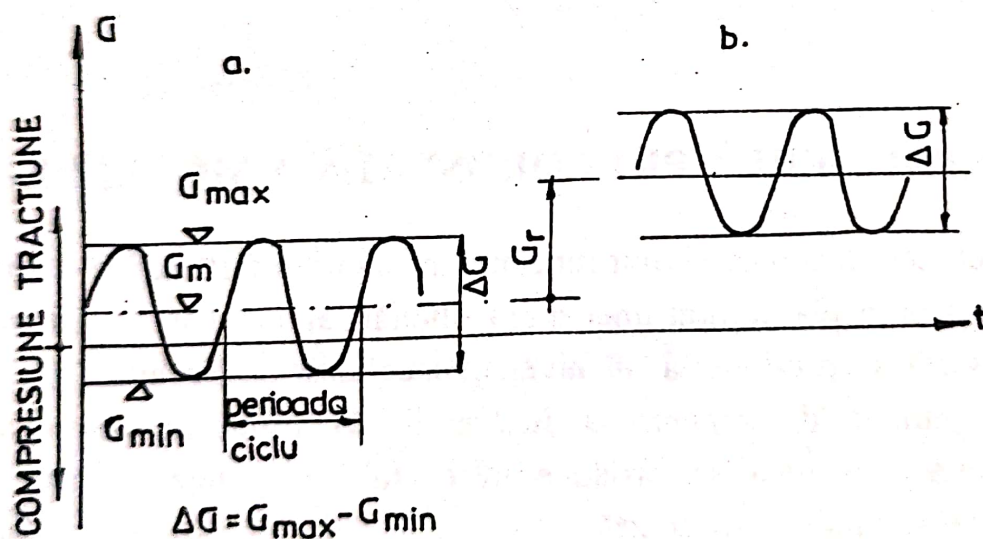


Fig. 4.1. Definierea tensiunilor (a) și efectul tensiunilor reziduale de întindere (b).

b. Geometria detaliilor constructive

Geometria detaliilor constructive este determinantă pentru localizarea fisurii datorită fenomenului de oboseală, ca și pentru viteza ei de

propagare.

Pot fi evidențiate trei categorii de influențe geometrice:

- efectul geometriei structurii;
- efectul concentratorilor de tensiuni;
- efectul defectelor din cusăturile sudate (crestături și tensiuni remanente).

c. Acțiunea corosivă a mediului

Oboseala elementelor metalice produse într-un mediu corosiv se numește *oboseală datorită corosiunii sub tensiune*. Influența mediului corosiv asupra comportării la oboseală sub tensiune este cauzată de producerea prin coroziune a unor fisuri de atac care au o acțiune similară crestăturilor, micșorând mult rezistența la oboseală.

Acțiunea corosivă a mediului exterior influențează viteza de propagare a fisurilor.

4.3. MECANISMUL RUPERII LA OBOSEALĂ

Procesul ruperii prin oboseală se desfășoară în următoarele etape:

- distrugeri locale care duc la inițierea unor fisuri (ex: ecruisarea prin deformații repetate);
- propagarea fisurii până ce secțiunea transversală nefisurată a elementului metalic se reduce substanțial;
- ruperea finală bruscă a secțiunii transversale neruptă în fazele anterioare.

Suprafața rupturii elementului metalic prin oboseală este caracteristică acestui fenomen și pot fi precizate trei stadii de producere a ruperii fragile (fig.4.2):

- **stadiul 1** corespunde inițierii fisurii și propagării ei pe cale ductilă, de la suprafața piesei spre interiorul ei, la aproximativ 45° față de axa tensiunii. Zona suprafeței de rupere se extinde până la cel mult cinci grăunți situați în jurul originii fisurii.

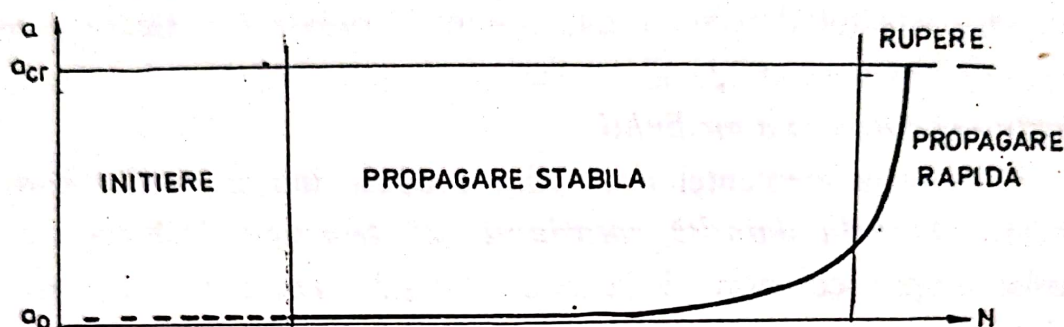


Fig. 4.2. Inițierea și propagarea fisurii la oboseală: a -dimensiunea fisurii;
 N -numărul de cicluri de solicitare.

Inițierea fisurilor are loc în dreptul discontinuităților (ex: capetele filetelor, găuri, incluziuni, bule de gaz, goluri de contracții, fisuri termice, ș.a.).

- **stadiul 2** corespunde propagării fisurii pe plane aproximativ normale la axa tensiunii.

Propagarea unei fisuri datorită oboselii este posibilă până la atingerea dimensiunii critice (a_{cr}) care este definită fie prin plastificarea secțiunii nete rămase, fie prin ruperea fragilă.

Se poate aprecia că o fisură nu produce ruperea fragilă a unui detaliu constructiv atâta timp cât concentratorul său de tensiuni k , nu depășește o valoare critică, k_c .

- **stadiu 3** corespunde ruperii finale care se poate produce ca rezultat al unei suprasarcini.

4.4. CURBA DE REZISTENȚĂ LA OBOSEALĂ DUPĂ EUROCODE 3

Calculul la oboseală se bazează pe conceptul diferenței de tensiuni, $\Delta\sigma$, fenomenul de oboseală manifestându-se în domeniul durabilităților mari ($N \geq 10^5$).

Principiul cumulării lineare a vătămărilor, folosind regula Palmgren-Miner, permite determinarea rezistenței la oboseală a elementelor metalice (fig.4.3).

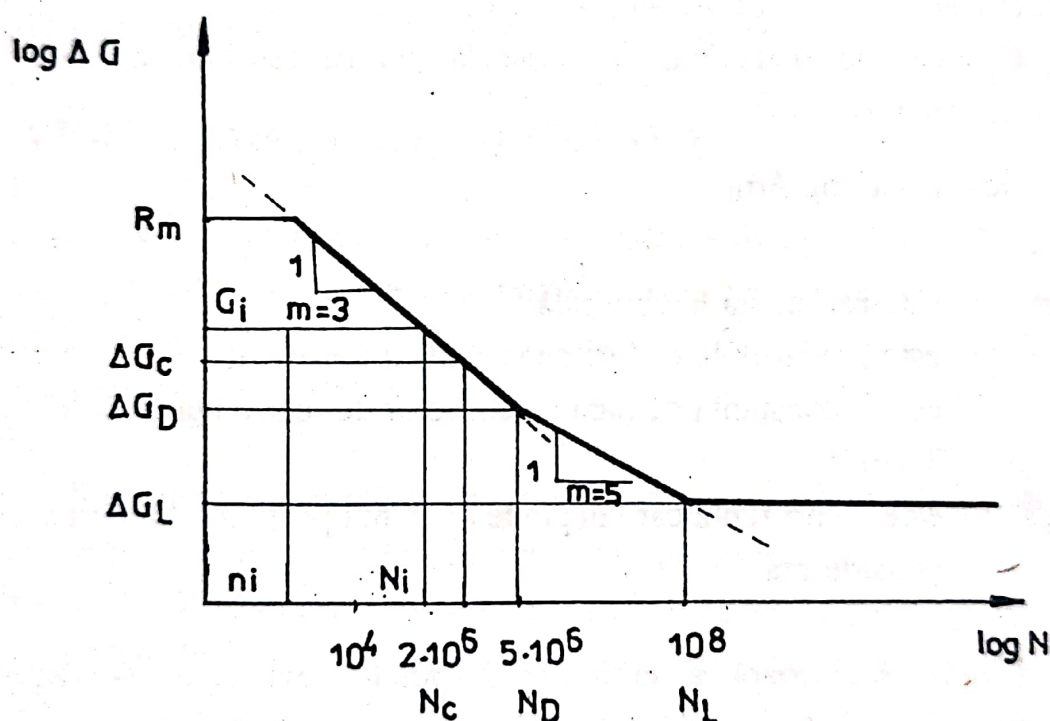


Fig. 4.3. Curba de rezistență la oboseală: $\Delta\sigma_c$ este valoarea de referință a rezistenței la oboseală pentru $N_D = 2 \cdot 10^5$; $\Delta\sigma_D$ este rezistența la oboseală a diferenței de tensiuni cu amplitudine constantă, $N_D = 5 \cdot 10^5$; $\Delta\sigma_L$ este rezistența de negociere a curbei, $N_L = 10^8$.

Potrivit acestui principiu, se poate deduce că fiecare ciclu de diferență de tensiune $\Delta\sigma_i$ crează o vătămare individuală d_i și că n_i cicluri de

diferențe de tensiune $\Delta\sigma_i$ produc o vătămare parțială $n_i d_i$. Ruperea prin oboseală se produce când cumularea vătămarilor parțiale este egală cu unitatea, $D_d = 1,0$:

$$D_d = \sum_{i=1}^n n_i d_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{N_i} \quad (4.1)$$

De remarcat că valoarea $D_d = 1,0$ semnifică atingerea rezistenței la oboseală, $\Delta\sigma_D$. Rezultă de aici, importanța menținerii sub această valoare limită a rezistenței elementelor metalice la dimensionarea detaliilor de construcție solicitate la oboseală ($D_d \leq 1,0$).

Curbele de rezistență la oboseală pentru tensiuni normale sunt definite de relația:

$$\log N = \log a - m \log \Delta\sigma_R \quad (4.2)$$

unde:

- $\Delta\sigma_R$ este rezistența la oboseală;
- N este numărul de cicluri de variație a tensiunii;
- m este o constantă de pantă a curbelor de rezistență cu valoare 3 sau 5;
- $\log a$ este o constantă care depinde de panta porțiunii din curba considerată.

Limita superioară a curbei corespunde rezistenței la rupere a materialului.

Domeniul corespunzător unui număr de cicluri cuprins între 10 și 10^4 este corespunzător oboselii oligociclice (oboseală prin deformări plastice excesive). Rezistența corespunzătoare este importantă îndeosebi pentru solicitările datorate seismului (număr mic de $\Delta\sigma$, dar cu valori ridicate).

Limita inferioară a acestei drepte, $\Delta\sigma_D$, reprezintă rezistența la oboseală (anduranța) și indică faptul că o solicitare inferioară acestei limite poate fi aplicată de un număr mare de ori ($> 10^8$) fără să se producă fisuri la oboseală. Această valoare este importantă pentru elementele supuse la un număr ridicat de $\Delta\sigma$ cu valori mici.

În prezent, nu sunt stabilite cu exactitate rugulile privind comportarea elementelor metalice în domeniul solicitărilor care produc oboseala la un număr redus de cicluri.

Curbe de rezistență la oboseală au fost stabilite pentru diferite alcătuiți constructive și implicit pentru diferite tipuri de concentratori.

4.5. VERIFICAREA LA OBOSEALĂ

Unele elemente de construcții metalice industriale sunt solicate la încărcări a căror intensitate sau poziție variază în timp. Fenomenul de oboseală apare numai dacă valorile maxime și minime ale ciclului de eforturi variabile se repetă la intervale de timp reduse și de un număr mare de ori.

Rezistența la oboseală a unui element de construcție este influențată de existența concentratorilor de tensiuni, de modul de alcătuire și de îmbinare a elementului, precum și de prezența tensiunilor reziduale provenite din fabricare, prelucrare sau asamblare. Concentrări de tensiuni apar de exemplu, la sudurile întrerupte între talpă și inimă, ca și la sudarea rigidizărilor transversale de talpa întinsă a grinzilor cu secțiune plină.

Îmbinările sudate în adâncime au o comportare la oboseală mai bună în comparație cu cele în relief, ceea ce face ca grinzile cu secțiune plină să se comporte mai bine față de cele cu zăbrele la care predomină sudurile în relief.

EUROCODE 3 propune o metodă de verificare la oboseală la un număr ridicat de cicluri de solicitare.

Verificarea la oboseală pe baza rezistenței la oboseală se face cu următoarea relație:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma \leq \Delta\sigma_D / \gamma_{Mf} \quad (4.3)$$

unde:

- $\Delta\sigma$ este diferența de tensiune;
- $\Delta\sigma_D$ este rezistența la oboseală;
- γ_{Ff} este coeficientul parțial de siguranță pentru încărcări:
 $\gamma_{Ff} = 1,0$;
- γ_{Mf} este coeficient parțial de siguranță pentru rezistență, cu valori ce depind de garantarea accesului la inspecția și întreținerea detaliilor. Astfel: $\gamma_{Mf} = 1,0$ sau $1,15$ pentru elemente a căror cedare nu are consecințe asupra structurii; $\gamma_{Mf} = 1,25$ sau $1,35$ pentru elemente a căror cedare conduce imediat la prăbușirea structurii.

Pentru verificarea la oboseală considerând cumulul de vătămări, se utilizează relația următoare:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_E \leq \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{Mf}} \quad (4.4)$$

unde:

- $\Delta\sigma_E$ este diferența de tensiune echivalentă;
- $\Delta\sigma_R$ este rezistența la oboseală.

Variația rezistenței la oboseală în funcție de grosimea piesei, pentru grosimi $t > 25$ mm, se stabilește cu relația:

$$\Delta\sigma_{R,t} = \Delta\sigma_R (25/t)^{0,25} \quad (4.5)$$

Reducerea rezistenței la oboseală în funcție de grosime se aplică la detaliile cu suduri transversale direcției tensiunii normale.

Dacă se utilizează rezistența la oboseală de referință pentru $2 \cdot 10^6$ cicli, relația de verificare este:

$$\gamma_{Fj} \cdot \Delta\sigma_{E.2} \leq \frac{\Delta\sigma_C}{\gamma_{Mf}} \quad (4.6)$$

unde:

- $\Delta\sigma_{E.2}$ este diferența de tensiune echivalentă pentru $2 \cdot 10^6$ cicli;
- $\Delta\sigma_C$ este rezistența la oboseală pentru $2 \cdot 10^6$ cicli corespunzătoare detaliului constructiv considerat.

Potrivit STAS 10108/0, verificarea la oboseală a elementelor și structurilor de construcții metalice se face cu relațiile:

$$\sigma \leq \gamma \cdot R; \quad \tau \leq \gamma \cdot R_f; \quad \sigma_{echiv} = 1,1\gamma \cdot R. \quad (4.7)$$

La verificarea grinzilor la oboseală nu se iau în considerație coeficienții dinamici și de stabilitate.

În relațiile de mai sus, coeficientul γ este dat de expresiile:

$$\gamma = \frac{c}{a - b\rho} \leq 1,0 \quad (4.8)$$

pentru cazul în care efortul maxim în valoare absolută este de întindere,

$$\gamma = \frac{c}{b - a\rho} \leq 1,0 \quad (4.9)$$

pentru cazul în care efortul maxim în valoare absolută este de compresiune.

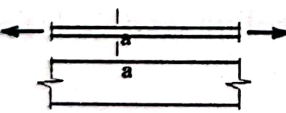
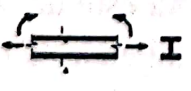
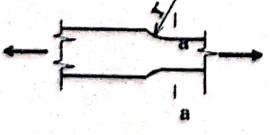
Valorile coeficienților a , b și c se iau din tabelele 4.1 și 4.2, iar ρ este egal, după caz, cu unul din rapoartele:

$$\sigma_{min} / \sigma_{max}; \quad \tau_{min} / \tau_{max}; \quad \sigma_{echiv min} / \sigma_{echiv max}. \quad (4.10)$$

Tabelul 4.1. Coeficienții a, b și c pentru verificarea la oboseală

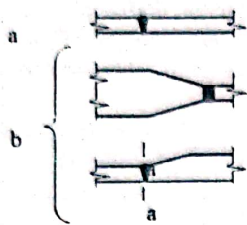
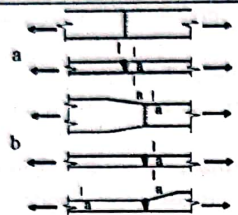
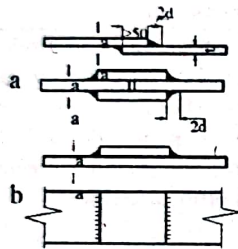
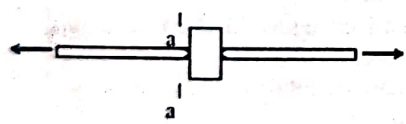
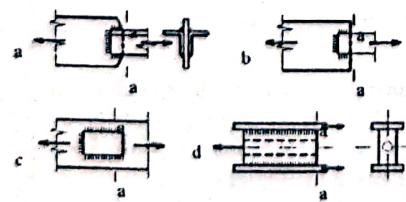
Marca oțelului	Grupa elementului și a îmbinării	a	b	c					
				numărul de cicluri (în milioane)					
				0,5	1,0	2,0	3,0	≥5,0	
OL 37 ORCA 37	1	1,20	0,60	1,2	1,1	1,0	0,95	0,9	
	2	1,30	0,70						
	3	1,55	0,95	1,3					
	4	1,85	1,25						
	5	2,10	1,50	1,4	1,2			0,85	
	6	2,75	2,15						
	7	3,50	2,90						
	8	4,80	4,20						
OL 44 OL52 OCS 44 ORCB 52	1	1,25	0,65	1,2	1,1	1,0	0,95		0,9
	2	1,45	0,85						
	3	1,80	1,20	1,4	1,2			0,85	
	4	2,40	1,80						
	5	2,75	2,15	1,6	1,3				
	6	3,80	3,20						
	7	4,80	4,20						
	8	6,00	5,40						

Tabelul 4.2. Grupele elementelor și îmbinărilor pentru verificarea la oboseală

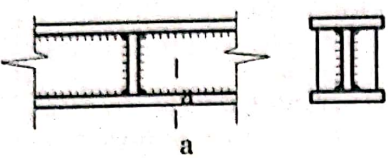
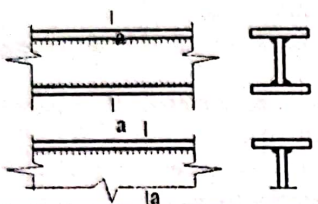
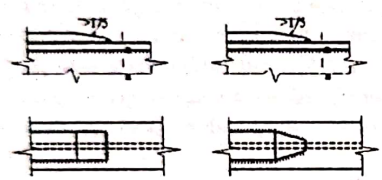
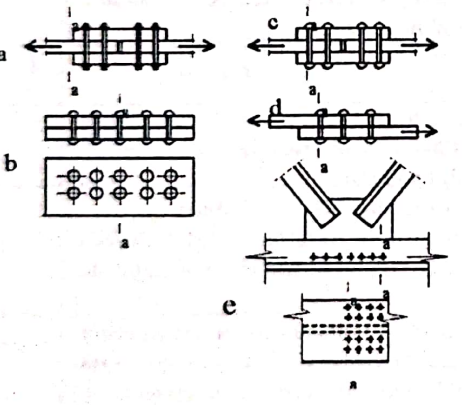
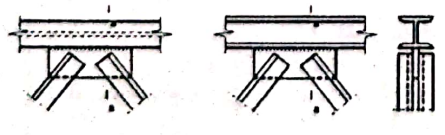
N R. crt.	Schema îmbinării și poziția secțiunii de calcul a – a	Caracteristica secțiunii	Grupa elemen- tului sau a îmbină- rii
1	2	3	4
1		Metal de bază cu suprafața rezultată din laminare, neprelucrată și cu marginile rezultate din laminare, tăiere sau prelucrare mecanică în secțiuni departe de suduri, nituri sau șuruburi	1
2		Idem, dar cu marginile rezultate din tăiere cu flacără cu gaz: - Tăiere automată - Tăiere manuală	2 4
3		Metal de bază cu suprafața rezultată din laminare și marginile prelucrate mecanic în cazul trecerii de la o lățime la alta cu o racordare curbă, de rază: $r=200\text{mm}$ $r=10\text{mm}$	1 4

4. ÎNCERCAREA METALELOR LA SOLICITĂRI VARIABLE. FENOMENUL DE OBOSEALĂ

Tabelul 4.2. Continuuare

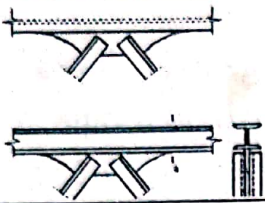
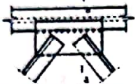
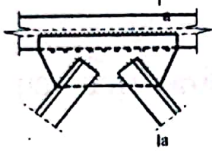
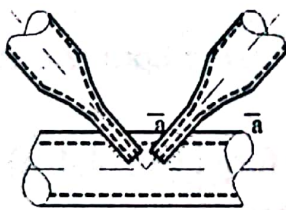
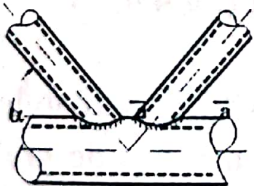
1	2	3	4
4		Metal de bază în locul trecerii spre o îmbinare cu sudură neprelucrată dar care are o trecere suficient de lină: a) în cazul îmbinărilor tablelor au aceeași lățime și grosime; b) în cazul îmbinării tablelor de lățimi diferite sau de grosimi diferite, cu o trecere lină;	4 5
5		Metal de bază în locul trecerii spre o îmbinare cu sudură neprelucrată în acest loc prin polizare sau frezare: c) în cazul îmbinării tablelor de aceeași lățime și grosime; d) în cazul îmbinării tablelor de lățime și grosimi diferite;	2 3
6		Metal de bază în locul trecerii spre o sudură în relief transversală (frontală): a) în cazul transmiterii efortului prin suduri fără prelucrare mecanică dacă raportul catetelor este 1:1.5 (când cateta mare este în lungul efortului). Idem, în cazul prelucrării mecanice a trecerii de la sudură la metalul de bază. b) fără prelucrare mecanică în cazul transmiterii efortului prin metalul de bază. Idem în cazul polizării trecerii de la o sudură spre metalul de bază	7 4 6 4
7		Metal de bază la îmbinări cu placă transversală în cazul trecerii line a sudurii spre metalul de bază: - cu pătrundere adâncă a îmbinării; - idem cu prelucrare mecanică a trecerii de la cordonul de sudură la metalul de bază.	7 4
8		Metal de bază la îmbinări cu suduri în relief laterale care lucrează la forfecare din forță axială, în locurile trecerii de la element la capătul sudurilor laterale, indiferent de prelucrare: a) cu două suduri laterale; b) cu suduri frontale și laterale; c) în cazul trecerii efortului prin metalul de bază; d) piese de ancorare pentru fixarea cablurilor.	8 8 8 8

Tabelul 4.2. Continuuare

1	2	3	4
9		Metal de bază în apropierea diafragmei și rigidizărilor sudate cu suduri în relief de tălpile întinse ale grinzilor și elementelor fermelor: - fără prelucrare mecanică a sudurilor, dar în cazul unei treceri line de la sudură la metal în cazul sudurii manuale și semiautomate; - idem, în cazul prelucrării mecanice a sudurilor	4 2
10		Secțiuni dublu T sudate, T sudate și de alte tipuri, realizate cu suduri longitudinale neîntrerupte: - sudură automată când efortul acționează în lungul axei sudurii în metalul de bază; - în cazul sudării manuale	2 3
11		Talpa unei grinzi sudate în locul unde se termină tabla de dublare a tălpii în cazul micșorării grosimii (lățimii) tablei care dublează talpa cu o pantă de 1:5 fără prelucrare mecanică a sudurii frontale (transversale) cu raportul catetelor 1:2	7
12		Metal de bază în secțiunile: - lingă îmbinări cu șuruburi de înaltă rezistență; - cu îmbinări cu nituri sau în dreptul găurilor libere; - în îmbinări cu nituri cu două secțiuni de forfecare; - cu îmbinări cu nituri cu o secțiune de forfecare; - în dreptul primului rând de nituri care prind gusele de elementele continue ale grinzilor cu secțiune plină sau a grinzilor cu zăbrele și de asemenea la capătul tablei care dublează talpa elementului încovoiat.	3 4 5 6 4
13		Gusee de formă dreptunghiulară sudate în continuarea tălpii sau în T pe elementele de construcție fără prelucrarea mecanică a trecerii de la guseu la element.	8

4. ÎNCERCAREA METALELOR LA SOLICITĂRI VARIABLE. FENOMENUL DE OBOSEALĂ

Tabelul 4.2. Contiunare

1	2	3	4
14		Gusee sudate în continuare sau în T de inimile și tăpile grinzilor și de asemenea de elementele formelor, când au forme curbe de racordare și prelucrare mecanică a trecerii de la gusee la elementele de construcții în cazul pătrunderii sudurii pe toată grosimea guseului.	4
15		Gusee dreptunghiulare sau de formă trapezoidală sudate pe contur de tăpile grinzilor fără prelucrarea mecanică a zonelor de concentrare a eforturilor	7
16		Gusee de formă trapezoidală sudate cu două suduri laterale și două suduri frontale (cu raportul catetelor 1:1 pentru suduri laterale și 1:1,5 pentru sudurile frontale) în cazul prelucrării mecanice a sudurilor de la capetele guseelor	5
17		Metal de bază al țevilor lângă cordonul de sudură realizat cu piesă suport	4
18		Metal de bază al țevii diagonale întinse în cazul: $S = \frac{\delta}{D} = \frac{1}{14}$ unde: δ și D sunt grosimea și diametrul exterior al țevii tăpii	8
19		Metal de bază al țevii diagonale întinse când: $\gamma_t = \frac{d}{D} = 0,4 \dots 0,7$ $\alpha = 45^\circ \dots 60^\circ$ în cazul: $S \geq 1/14$; $1/14 > S \geq 1/20$; $1/20 > S \geq 1/35$ unde: S – vezi punctul 18 d și D – diametrele exterioare ale țevilor diagonalelor și tăpii	6; 7; 8
20	Vezi fig. de la punctul 12, a	Șuruburi de înaltă rezistență	1
21	Vezi fig. 12, c Vezi fig. 12, d	Nituri (în cazul calculului la forfecare și strivire): - cu două secțiuni de forfecare - cu o secțiune de forfecare	4 5
22		Metal de bază al Țelilor de întindere filetate, din oțel marca OL37 la filet: M 24 – M 48 M 56 – M 72	4 6

4.6. ÎNCERCAREA LA OBOSEALĂ PRIN ÎNCOVOIERE ROTATIVĂ

Încercarea constă în aplicarea, în general până la rupere, perpendicular pe axa longitudinală a epruvetei aflată în rotație, a unei sarcini care produce un moment de încovoiere (STAS 5878-85), în vederea determinării următoarelor caracteristici:

- durabilitate;
- rezistența la durabilitate limitată (rezistența la oboseală);
- limita de oboseală.

Încovoierea se produce cu cicluri alternant simetrice, cu amplitudine constantă.

4.6.1. Epruvete pentru încercare

Pentru încercarea la încovoiere rotativă se folosesc epruvete cu secțiune circulară și anume (fig.4.4):

- toroidală, pentru toate modurile de aplicare a forței (fig. 4.4, a);
- cilindrică, pentru aplicarea forței în două și patru puncte (fig. 4.4, b);
- tronconică, pentru aplicarea forței într-un punct (fig.4.4, c).

Prelucrarea obișnuită a unei epruvete comportă următoarele operații:

- degroșare prin strunjire, epruveta prezentând un adaos de prelucrare de cel puțin 5 mm față de dimensiunile porțiunii calibrate înainte de polizare, așchierile executându-se cu adâncimi succesive de 1,25 mm; 0,75 mm și 0,25 mm;
- finisare prin strunjire, epruveta prezentând un adaos de cel puțin 0,5 mm, cu adâncimile de așchiere de 0,125mm; 0,075mm și 0,05 mm și un avans longitudinal de cel mult 0,06 mm/rotație;

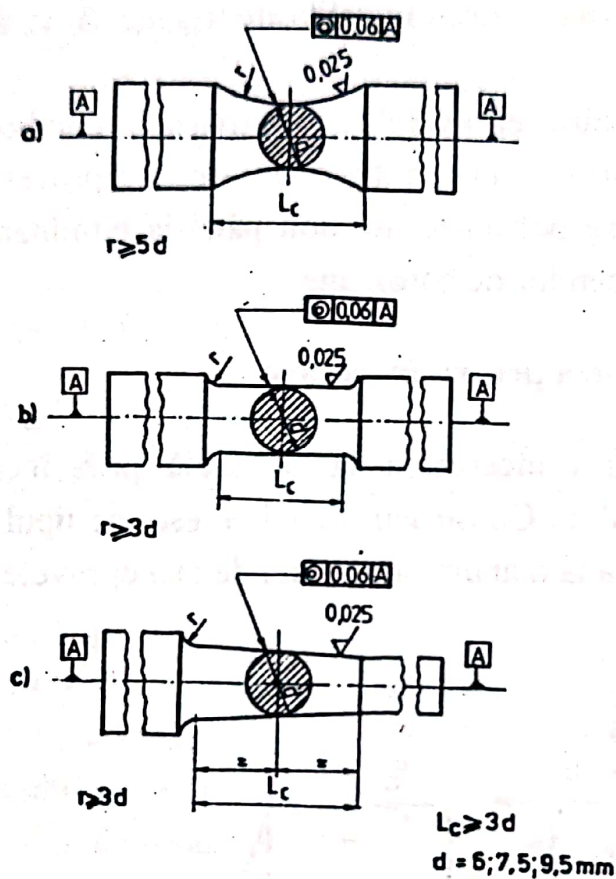


Fig. 4.4. Epruvete pentru încercarea la încovoiere rotativă: a-toroidală; b-cilindrică; c-tronconică.

- finisare prin rectificare, aplicată numai epruvetelor care nu pot fi finisate prin strunjire din cauza formei sau calității metalului, cu adâncimi de așchiere succesive de:
- 0,03 mm pentru reducerea adaosului de la 0,5 la 0,1 mm;
 - 0,005 mm pentru reducerea adaosului de la 0,1 mm la 0,025 mm;
 - 0,0025 mm până la dimensiunea nominală.

- polizare longitudinală cu hârtie abrazivă sau pulberi abrazive, în cel puțin trei trepte progresive de finețe, până la granulația finală de 63. Rugozitatea suprafeței porțiunii calibrate trebuie să fie $R_a = 0,025 \mu\text{m}$.

Înainte de încercare, epruvetele se păstrează în condiții care să asigure evitarea oricărei deteriorări ale calității suprafeței. Epruvetele care prezintă urme de deteriorare se polizează din nou până la eliminarea defectelor de suprafață, inclusiv a petelor de coroziune.

4.6.2. Aparatura pentru încercare

Aparatul pentru încercarea la oboseală prin încovoiere rotativă utilizat în Laboratorul de Construcții metalice este de tipul epruvetă fixă și sarcină rotativă situată la o anumită distanță de axa epruvetei (fig.4.5).

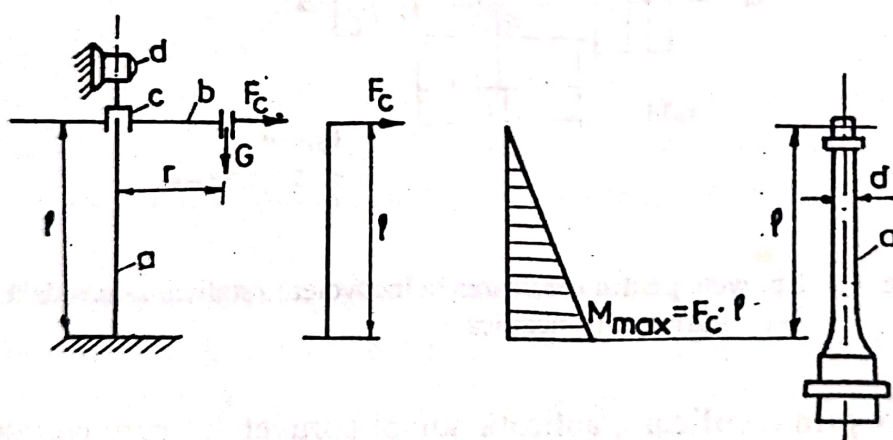


Fig. 4.5. Principiul de funcționare al aparatului de încercare la oboseală prin încovoiere rotativă: a-epruvetă; b-pârghie; c-furcă; d-electromotor.

Epruveta (a) este montată în poziție verticală, fiind încastrată la un capăt și liberă la celălalt.

La capătul liber este fixată o pârghie (b) pe care se poate deplasa greutatea G. Prin intermediul furcii (c) și electromotorului (d), epruveta este antrenată în mișcare de rotație.

Greutatea G produce o forță centrifugă F_c și deci în epruvetă, un moment încovoietor și o tensiune normală exprimate cu relațiile:

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot r \quad (4.11)$$

$$M_{\max} = F_c \cdot l = \frac{G}{g} \cdot \omega^2 \cdot r \cdot l \quad (4.12)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{G \cdot \omega^2 \cdot r \cdot l}{g \frac{\pi d^3}{32}} = \frac{32 \omega^2}{\pi g} \cdot \frac{G \cdot r \cdot l}{d^3} = k \frac{G \cdot r \cdot l}{d^3} \quad (4.13)$$

unde:

- m este masa, [kg];
- g este accelerația gravitațională, [cm / s²];
- ω este viteza unghiulară: $\omega = 2\pi n / 60$ [rad / s];
- W este modulul de rezistență, [cm³];
- N este numărul de rotații pe minut.

Prin variația valorilor greutății G și razei r se obțin diverse valori pentru tensiunile din epruvetele încercate trasând curba de rezistență la oboseală.

Constanta k a aparatului de încercat este de 252,6624 cm⁻¹ pentru n=1490 rot / min.

Aparatul utilizat pentru încercare (fig.4.6) se compune dintr-un cadru închis alcătuit din placa de bază (1), pereții laterali (4) și placa de susținere (11). Pe acest cadru se prinde motorul de antrenare (12) pe al cărui ax (10) este fixată furca de antrenare (9), cu rulmenții de ghidare (8).

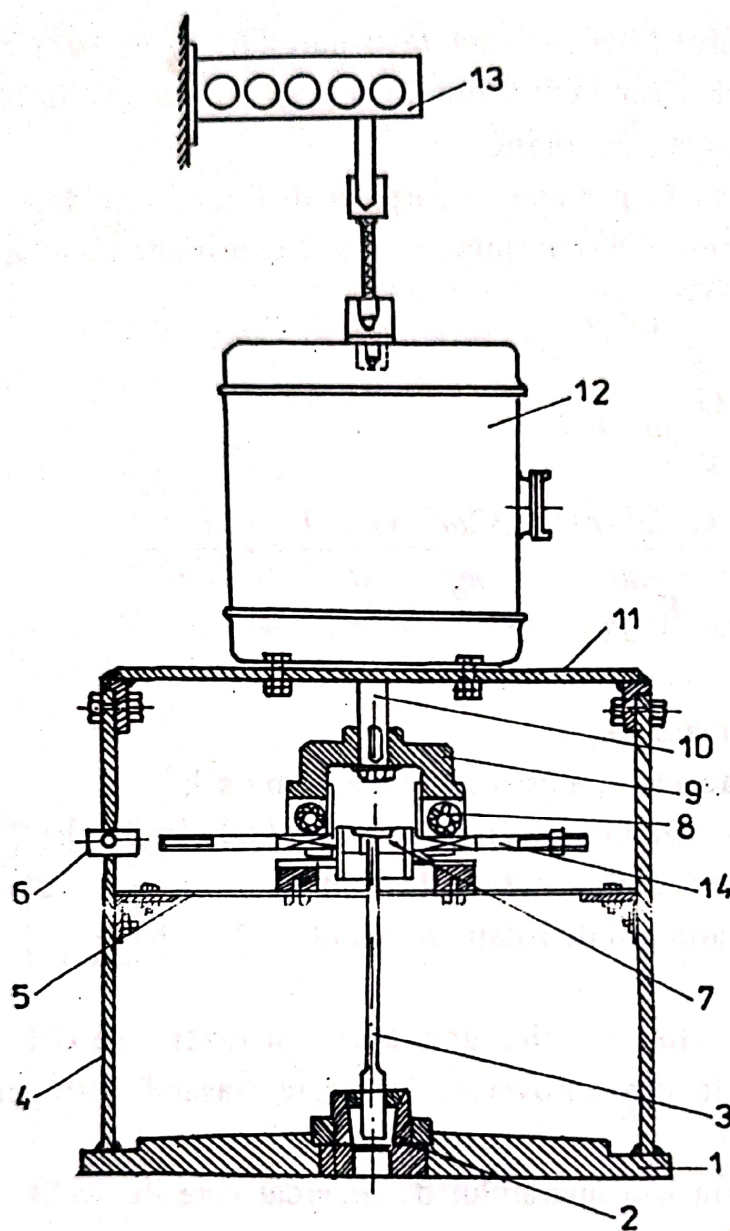


Fig. 4.6. Aparat pentru încercarea la oboseală prin încovoire rotativă: 1-placă de bază; 2-bucșa cu flanșă; 3-epruveta; 4-pereți laterali; 5-placă de susținere; 6-dispozitiv în peretele lateral; 7-rulment radial oscilant; 8-rulment radial; 9-furcă antrenare; 10-ax electromotor; 11-placă susținere; 12-electromotor; 13-contor de ture.

Epruveta (3) este montată în bușă cu flanșă (2) prinsă de placa de bază (1). La capătul superior al epruvetei se fixează brațul de antrenare (14) prin intermediul rulmentului oscilant (7).

Aparatul este prevăzut cu numărătorul de ture (13) care se assemblează cu electromotorul (12). În momentul ruperii epruvetei se asigură întreruperea automată a alimentării electromotorului.

Brațul de antrenare (14), datorită greutatea, se va roti excentric și soliciată epruveta la o forță centrifugă controlată și constantă ca valoare, dar variabilă ca punct de aplicație pe epruvetă. În acest fel, fiecare punct al epruvetei este soliciat la un ciclu alternant simetric.

Aparatul este prevăzut cu un pahar cilindric filetat în bușă cu flanșă (2) pentru protecția personalului în momentul ruperii probei.

4.6.3. Executarea încercării

- se examinează epruvetele de încercat urmărindu-se să nu prezinte defecte exterioare, să fie îngrijit prelucrate, să nu aibă abateri de la rectilinitate și coaxialitate;
- se măsoară diametrul epruvetei în câteva secțiuni în lungul epruvetei;
- se măsoară lungimea epruvetei de la umărul său până la începutul racordării de la partea inferioară. La această valoare se adaugă 5 mm ($l = l_0 + 0,5$);
- se fixează epruveta și pe brațul rotitor se montează greutatea G la distanța r corespunzătoare tensiunii maxime la care se efectuează încercarea;
- se verifică ca contorul de rotații să fie în poziția de zero și se pornește electromotorul;
- după ruperea epruvetei se notează de pe contor numărul de cicluri de soliciitare (N) corespunzător ruperii și se demontează epruveta;

- se continuă încercările până în momentul în care epruveta încărcată nu se mai rupe (asigurarea numărului de cicluri N_C și a rezistenței de rupere prin oboseală σ_R).
- se trasează curba de rezistență la oboseală și se stabilește rezistența la oboseală pentru un ciclu alternant simetric.

În buletinul de încercare se vor indica următoarele:

- ◆ forma și dimensiunile epruvetei;
- ◆ caracteristicile determinate;
- ◆ condițiile de prelevare a probei;
- ◆ eventualele defecte identificate;
- ◆ caracteristicile materialului;
- ◆ frecvența de aplicare a ciclurilor.



ÎNCERCĂRI TEHNOLOGICE

Încercările de deformabilitate la rece au rolul de a verifica calitatea produselor metalice (lipsa defectelor de suprafață) precum și capacitatea de deformare la rece a acestora în cursul operațiilor de profilare, pliere, etc.

5.1. ÎNCERCAREA DE ÎNDOIRE

Încercarea la îndoire constă în deformarea plastică prin îndoire lentă, continuă și fără șocuri a unei epruvete rectilinii, în jurul unui dorn, până ce unghiul α între fața unei ramuri a epruvetei îndoite și prelungirea feței celeilalte ramuri (fig. 5.1) ia valoarea prescrisă sau, până la apariția primei fisuri cu luciu metalic de minim 3 mm lungime (STAS 77-80).

Pe baza încercării de îndoire se apreciază capacitatea de deformare plastică a produselor metalice cu secțiune circulară ($d \geq 4$ mm),

dreptunghiulară sau poligonală ($a \geq 3 \text{ mm}$).

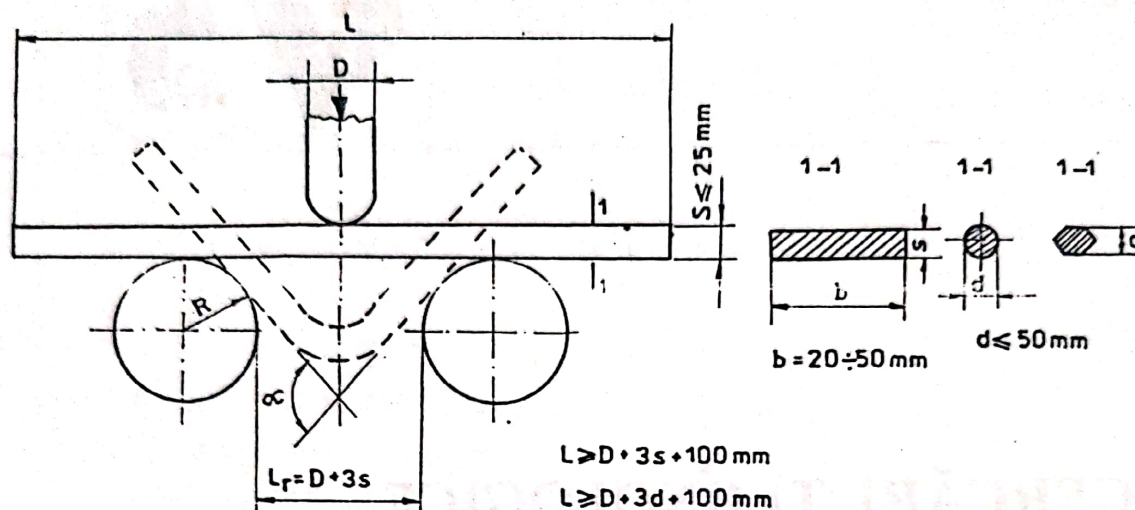


Fig. 5.1. Șchema de încercare.

Dispozitivul pentru încercarea la îndoire liberă este alcătuit din două role mobile de rază R , cu axele paralele, pe care reazemă epruveta și un dorn cilindric, cu diametrul D . Diametrul dornului este prescris prin normele de produs în funcție de grosimea și clasa de calitate a oțelului. În caz contrar, se consideră $D = (2 \dots 3)a$, a fiind grosimea piesei de încercat.

Unghiul de îndoire α la încercarea oțelurilor de uz general pentru construcții este de 180° .

Diametrul dornului ia valori dependente de grosimea pieselor, de marca de oțel și clasa de calitate a acestuia (tab. 5.1).

Dispozitivul pentru încercarea de îndoire este montat pe o mașină de încercat universală care permite aplicarea lentă și progresivă a sarcinii pentru deformarea continuă a epruvetei. Îndoirea se execută până se realizează unghiul specificat în standardul de produs și se înregistrează eventuala apariție a fisurilor cu luciu metalic. Se oprește aplicarea sarcinii și

se măsoară unghiul de îndoire cu ajutorul unui dispozitiv comparator cu ac mobil.

Tabelul 5.1 Diametrul dornului.

Marca oțelului	Clasa de calitate	Unghiul de îndoire [°]	Diametrul dornului în funcție de grosimea piesei (a)
OL 00	-	180	$D = 3a$
OL 32	1	180	$D = 0$
OL 34	1	180	$D = 0,5a$
OL 37	1, 2	180	$D = 1,5a$
	3, 4	180	$D = 1,0a$
OL 44	2, 3, 4	180	$D = 2a$
OL 52	2	180	$D = 3,0a$
	3, 4A, 4B	180	$D = 2,5a$

Încercarea la refulare poate fi efectuată și în alte două variante: îndoire completă la 180° la diferite distanțe între fețele interioare ale ramurilor deformate ale epruvetei și prin îndoire în matriță profilată la anumite unghiuri,

5.2. ÎNCERCAREA DE REFULARE

Încercarea de refulare constă în deformarea prin compresiune a unei epruvete cilindrice în vederea aprecierii aspectului suprafeței laterale a acesteia (STAS 2233-80), figura 5.2.

Deformarea prin refulare la rece se face până la apariția primei fisuri sau până în momentul când înălțimea finală a epruvetei h ajunge la o valoare convențională de $h_0/2$, h_0 fiind înălțimea ei inițială.

Gradul de refulare relativă realizat în finalul încercării se determină cu relația:

$$X = [(h_0 - h) / h_0] \cdot 100 \quad [\%] \quad (5.1)$$

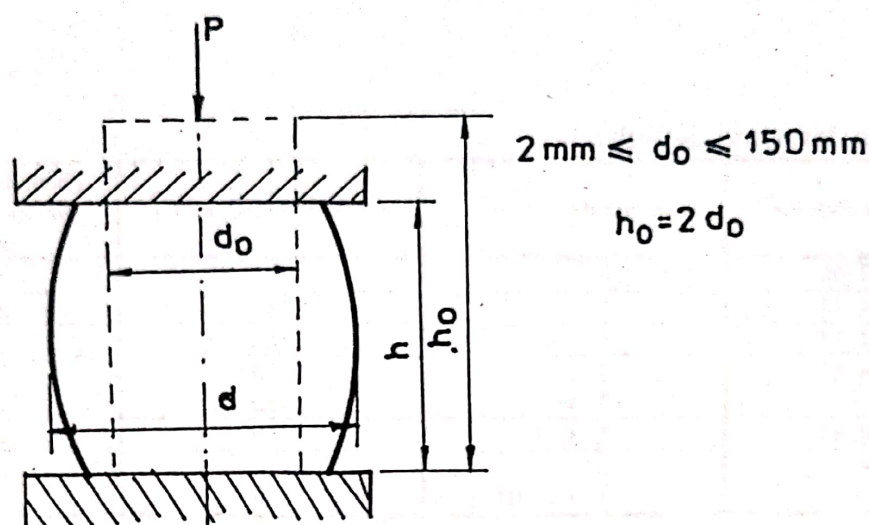


Fig. 5.2. Principiul încercării de refulare. Caracteristicile epruvetei.

Încercarea este utilă pentru evidențierea defectelor de suprafață sau a defectelor existente în imediata apropiere a suprafeței produsului încercat.

5.3. ÎNCERCĂRI DE DEFORMABILITATE LA RECE A ȚEVILOR

Încercările de deformabilitate la rece a țevelor metalice au scopul de a evalua capacitatea de deformare plastică a acestora. Epruvetele supuse încercării se obțin prin secționarea țevelor în plan perpendicular pe generatoare, cu lungimi specificate în normele de produs.

5.3.1. Încercarea de îndoire a tronsonului

Încercarea constă în îndoirea unui tronson de țeavă pe o rolă cu canelură de rază specificată r până când unghiul de îndoire α atinge valoarea specificată în standardul de produs (STAS ISO 8491-92), figura 5.3.

Tronsonul de țevă neumplut se așază în mașina de îndoit asigurând pe toată lungimea îndoirii un contact convenabil între tronson și rola cu canelură, apoi se îndoaie până la unghiul de îndoire specificat.

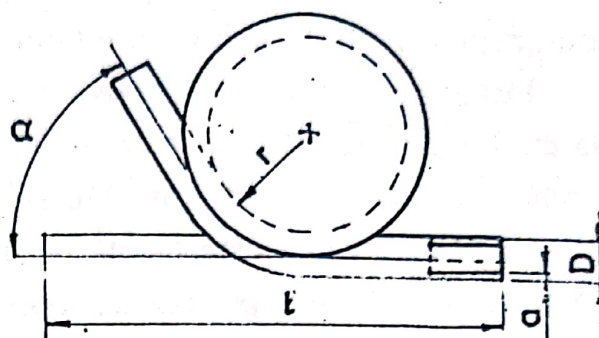


Fig. 5.3. Schema de încercare.

Interpretarea datelor încercării la îndoire a țevelor este stabilită în standardul de produs. În absența acestor prescripții, epruveta se consideră satisfăcătoare dacă nu se observă nici o fisură vizibilă fără mijloace de mărire.

5.3.2. Încercarea de aplatizare

Încercarea constă în aplatizarea, între plăcile unei mașini, a extremității unei țevi, sau a unei epruvete de lungime specificată tăiată dintr-o țevă, în sensul perpendicular pe axa longitudinală a țevii, până când distanța dintre plăci, măsurată sub sarcină pe direcția de aplatizare, atinge valoarea specificată în standardele de produs (STAS ISO 8492-92), figura 5.4 a, b.

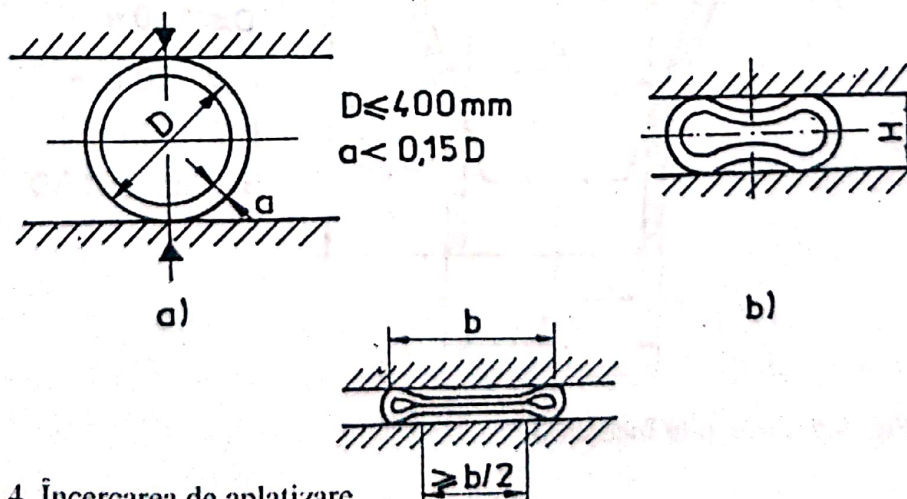


Fig. 5.4. Încercarea de aplatizare.

În cazul aplatizării complete, suprafețele interioare ale epruvetei vin în contact pe cel puțin jumătate din lățimea epruvetei (fig. 5.4, c).

Lungimea epruvetei supusă încercării trebuie să fie aproximativ egală cu $1,5 D$, sau nu mai mică de 10 mm și nici mai mare de 100 mm. Lungimea uzuală este de 40 mm. Muchiile epruvetei pot fi rotunjite cu pila.

Când încercarea este făcută pe însuși capătul țevii, țeava trebuie să fie tăiată perpendicular pe axa sa longitudinală, pe o adâncime cel puțin egală cu 80% din diametrul ei exterior. Tăietura trebuie să se afle la o distanță egală cu lungimea unei epruvete.

5.3.3. Încercarea la lărgire

Încercarea constă în lărgirea cu ajutorul unui dorn tronconic a extremității unei epruvete tăiate dintr-o țeavă, până când diametrul exterior maxim al țevii astfel lărgite D_u , atinge valoarea specificată în standardul de produs (fig. 5.5) fără să apară fisuri în zona deformată (STAS ISO 8493-92).

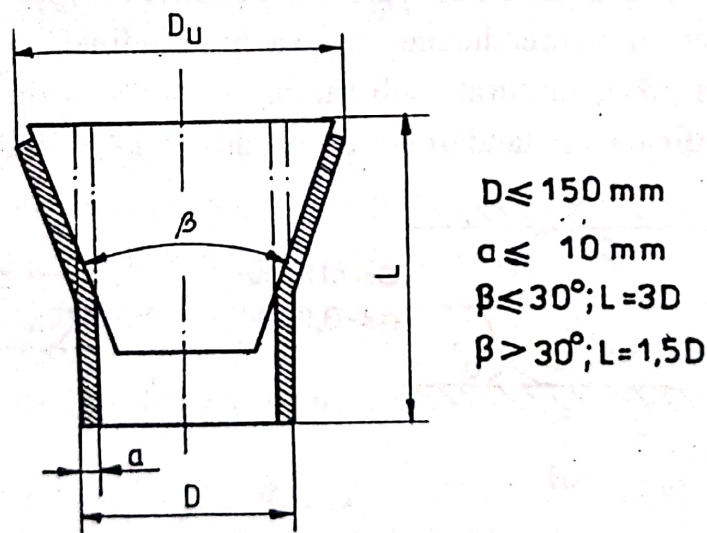


Fig. 5.5. Principiul încercării.

Încercarea se efectuează cu ajutorul unei prese cu mărime variabilă sau a unei mașini de încercat universale.

Lungimea epruvetei L , depinde de unghiul conului dornului pentru lărgire β . Epruveta poate fi mai scurtă dacă țeava are $D < 20$ mm, cu condiția ca partea rămasă cilindrică a epruvetei lărgite să fie de minimum $0,5D$.

Dornul poate fi lubrefiat, însă nu trebuie să se rotească în raport cu epruveta în timpul încercării.

5.3.4. Încercarea la răsfrângere

Încercarea constă în răsfrângerea, la extremitatea unei țevi sau a unei epruvete tăiate dintr-o țeavă, a unei borduri perpendiculare pe generatoarea țevii, până când diametrul exterior al bordurii, D_u (fig.5.6), atinge valoarea specificată în standardul de produs, fără să apară fisuri în zona deformată (STAS ISO 8494-92).

Dispozitivul de formare este compus din:

- primă sculă tronconică având un unghi la vârf β , adecvat (în mod obișnuit $\beta = 90^\circ$);
- a doua sculă prevăzută cu un capăt cilindric cu diametrul mai mic cu aproximativ 1 mm față de diametrul interior al țevii și cu o porțiune concentrică plană, perpendiculară pe axa sculei de formare, cu diametrul cel puțin egal cu diametrul impus bordurii.

Sculile de formare se realizează din material de duritate suficientă și sunt șlefuite.

Încercarea se execută în următoarele etape:

- se perforează epruveta prin introducerea forțată a sculei tronconice de formare până când diametrul părții lărgite atinge valoarea specificată pentru bordură (fig. 5.6, a);

- se scoate scula tronconică și dacă este necesar se înlocuiește cu cea de-a doua sculă de formare;
- se continuă exercitarea unei forțe axiale pe epruvetă până când porțiunea lărgită formează o bordură perpendiculară pe axa epruvetei, de diametru prescris.

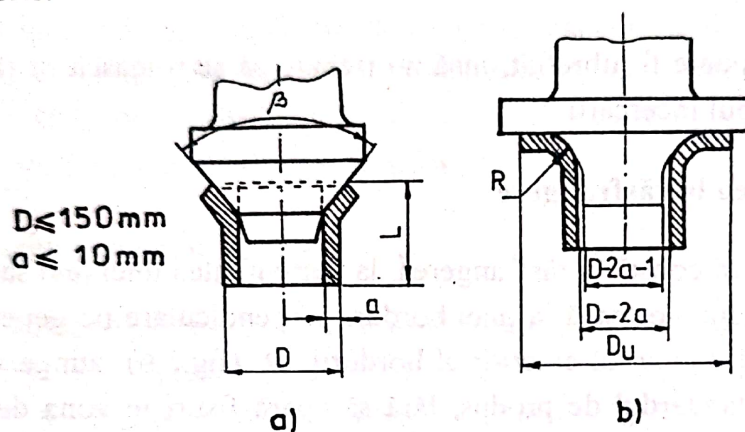


Fig. 5.6. Încercarea la răsfrângere a țevii: a-lărgirea țevii; b-răsfrângerea zonei lărgite.

Dornul de formare poate fi lubrefiat, dar el nu trebuie să se rotească în raport cu epruveta în timpul încercării.



ÎNCERCĂRI PRIVIND COROZIUNEA ~~METALELOR~~

6.1. GENERALITĂȚI

Coroziunea metalelor este un fenomen deosebit de complex care depinde de un număr mare de factori.

Rezistența la coroziune a metalelor este determinată atât de caracteristicile metalului cât și de cele ale mediului agresiv. Din aceste considerente, metodele de evaluare ale rezistenței anticorozive ale unui metal (aliaj) sau încercările la coroziune sunt foarte numeroase și variate.

În principal, încercările la coroziune urmăresc următoarele aspecte:

- cercetarea modului de desfășurare a procesului de coroziune (localizare, factori care intervin);

- stabilirea eficacității unor sisteme de protecție anticorosivă adecvate unor condiții de exploatare date (natura și caracteristicile mediului corosiv, alcătuirea constructivă și modul de îmbinare a elementului, etc.);
- stabilirea unor tehnologii adecvate pregătirii suprafețelor și aplicării protecțiilor anticorosive în condițiile execuției sau exploatării construcțiilor metalice.

Încercările la coroziune pot fi efectuate în condiții de laborator (încercări accelerate folosind cuve cu lichid corosiv, camere cu ceață corosivă) sau în condiții de exploatare a materialului (încercări în poligoane amplasate în atmosfera specifică utilizării materialului).

Prin metodele de cercetare a coroziunii în laborator se realizează condiții artificiale (în majoritate standardizate) ce reproduc situațiile reale întâlnite în exploatarea construcțiilor metalice. Aceste metode sunt reproductibile și pot furniza informații pentru orice tip de coroziune permițând stabilirea unor echivalențe cu încercările efectuate în atmosfera specifică utilizării materialului.

Încercările la coroziune în condiții de laborator pot fi accelerate atunci când se bazează pe intensificarea unuia sau mai multor factori care influențează coroziunea și permit obținerea unor date într-un timp relativ scurt. Accelerarea procesului de coroziune în condiții de laborator nu trebuie să modifice esența procesului care se desfășoară la scară reală de timp.

6.2. METODE DE EVALUARE A COROZIUNII

Metodele de evaluare a comportării la coroziune a unui element sau a unei îmbinări metalice, a unui sistem de protecție anticorosivă sau a unei

tehnologii de pregătire și aplicare a straturilor protectoare pot fi grupate în două categorii: metode calitative și metode cantitative.

6.2.1. Metode calitative

Metodele calitative sunt simple și ușor de aplicat dar, în principiu, insuficiente pentru a caracteriza un proces de coroziune. Din această categorie fac parte: examinarea vizuală și examenul metalografic.

- *Examinarea vizuală* permite stabilirea modului de atac al coroziunii: uniform sau nu, prin puncte și/sau pete, de aderență a produselor de coroziune la suprafața metalică, identificând tipul și direcția de dezvoltare a procesului de coroziune. Aplicarea metodei necesită un nivel ridicat de expertiză în problemele de coroziune; în caz contrar pot apare erori personale de interpretare care conduc la concluzii eronate.

- *Examenul metalografic* este utilizat cu precădere în cazul coroziunii fisurante sub tensiune mecanică și permite caracterizarea comportării unui oțel susceptibil de fisurare corosivă. Microscopia optică și electronică, combinate judicios, permit realizarea unor progrese mari în privința interpretării fenomenelor de coroziune.

6.2.2. Metode cantitative

Metodele cantitative asigură o apreciere mult mai exactă a comportării la coroziune a construcțiilor metalice. Principalele metode cantitative sunt:

- *Metoda gravimetrică*, utilizată în cazul coroziunii generalizate sau localizate sub formă de pete, are la bază determinarea indicelui gravimetric i_g definit prin variația greutății probei înainte G_o și după expunere la acțiunea mediului corosiv G_c , raportată la aria suprafeței S și la durata de încercare t .

Se exprimă prin relația:

$$i_s = \frac{G_o - G_c}{S \cdot t} \quad [g / m^2 \cdot an] \quad (6.1)$$

Îndepărtarea produselor de coroziune de pe suprafața probelor se face cu mijloace mecanice (periere) sau cu reactivi chimici care dizolvă numai produsele de coroziune. Metoda gravimetrică nu poate fi aplicată în cazul coroziunii localizate sub formă de puncte sau pungi de coroziune sau a coroziunii intercristaline și transcristaline. În aceste cazuri, produsele de coroziune rămân în interiorul probei, iar variația greutății înainte și după expunerea ei la acțiunea mediului corosiv este nesemnificativă.

• **Metoda de penetrație**, utilizată în cazul coroziunii generalizate sau localizate sub formă de pete și puncte, constă în determinarea indicelui de penetrare i_h definit ca fiind variația grosimii probei înainte h_o , și după ce a fost expusă la acțiunea mediului corosiv h_c , raportată la durata de încercare t . Acest indice se exprimă prin relația:

$$i_h = \frac{h_o - h_c}{t} \quad [mm / an] \quad (6.2)$$

Măsurarea grosimii probelor poate fi efectuată cu micrometre cu o precizie de 10...100μm, cu aparate cu ultrasunete sau cu aparate cu radiație.

• **Metoda de stabilire a variației proprietăților fizice** (proprietăți mecanice, rezistență electrică, conductivitate termică, etc.) ale epruvetelor sau elementelor metalice înainte și după expunerea lor la acțiunea mediului corosiv se folosește în general, în cazul coroziunii localizate sub formă de pungi, sau a coroziunii intercristaline sau transcristaline, prin mărimea indicelui de coroziune, determinat cu relația:

$$i_c = \frac{F_o - F_c}{F} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6.3)$$

unde F_o și F_c sunt valorile indicatorului fizic (limita de rezistență la curgere sau la rupere, alungirea remanentă, reziliența, rezistența de rupere la

oboseală prin încovoiere rotativă, rezistența electrică, conductivitatea termică, etc.) înainte și după acțiunea mediului corosiv asupra epruvetelor sau elementelor metalice.

Evaluarea variației rezistenței electrice este metoda adecvată pentru urmărirea evoluției coroziunii intercristaline a oțelurilor supuse la tracțiune.

Evaluarea variației conductivității termice a materialului metalic permite determinarea cantității produselor de coroziune sau mărimea fisurii produsă de coroziunea fisurantă sub tensiune mecanică prin proporționalitatea între aceste mărimi și conductivitatea termică.

- *Evidențierea discontinuității câmpului magnetic* (aglomerarea unor pulberi magnetice fine datorate magnetizării elementului metalic, în curent continuu sau alternativ) permite detectarea microfisurilor care nu pot fi observate cu ochiul liber sau cu lupa, în cazul coroziunii intercristaline sau transcristaline având adâncimea maximă de 20mm.

6.3. AGENȚI AGRESIVI UTILIZAȚI LA ÎNCERCĂRILE DE LABORATOR

La încercările de laborator, pentru accelerarea procesului de coroziune se folosesc medii agresive cu caracteristici foarte variate (compoziție chimică, concentrație, temperatură) sub formă de soluții și gaze. Cel mai des utilizate, pentru că reproduc mediile cele mai agresive, sunt soluțiile de: 3,5% NaCl, 3% H₂SO₄, 3% HCl, 3% NaOH sau cele care conțin un amestec de NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂, KCl și gazele de: SO₂, H₂S, HF, HCl, Cl₂, NH₃, NO₂, NO.

6.4. TIPURI DE PROBE

La alegerea probelor metalice ce urmează a fi încercate la coroziune

se are în vedere natura și structura materialului, starea suprafeței, forma și dimensiunile probei, numărul lor, alcătuirea constructivă și modul de îmbinare.

Încercările la coroziune în condiții de laborator sau în atmosferă industrială se pot efectua atât pe probe neprotejate cât și protejate anticorrosiv. Stabilirea eficacității diverselor sisteme de protecție anticorrosivă se realizează pe probe metalice protejate anticorrosiv. Determinarea influenței factorilor referitori la natura și structura materialului, starea suprafeței, alcătuirea constructivă, modul de îmbinare, starea de eforturi interioară se face pe probe neprotejate, simulându-se situația de distrugere locală a protecției anticorrosive.

Mai recent, având la bază multiple observații asupra comportării în exploatare a construcțiilor din oțel s-au efectuat încercări folosind probe protejate anticorrosiv în mod diferit în zonele cu îmbinări sau cu tensiuni mecanice foarte mari comparativ cu zonele fără îmbinări sau cu solicitare redusă.

Pentru compararea rezultatelor este indicat să se încerce în paralel minim două probe identice.

În cazul încercării la coroziune sub tensiune, introducerea efortului mecanic se face înaintea expunerii la acțiunea mediului corosiv, iar pentru probele protejate anticorrosiv după aplicarea sistemului de protecție. Forma probelor este necesar să fie cât mai apropiată de cea a elementelor curent utilizate în construcții metalice.

Atât în condițiile de laborator cât și în mediul natural, probele se dispun pe diverse platforme sau stative. Fixarea probelor se face pe un suport izolator în scopul evitării interacțiunii electrochimice între ele, pe de o parte, sau între ele și suport, pe de altă parte. Înclinarea probelor pe suport are o mare importanță fiind legată de valoarea umidității critice a aerului.

Atacul asupra unei suprafețe metalice orizontale este de trei ori mai

mare decât în cazul aceleiași suprafețe fixată vertical și aproape de două ori mai mare decât în cazul fixării suprafeței la 45° .

6.5. ÎNCERCĂRI ÎN CONDIȚII DE LABORATOR FOLOSIND CAMERE CU CEAȚĂ COROSIVĂ

6.5.1. Determinarea eficacității sistemelor de protecție anticorosivă cu ajutorul Instalației universale de încercare la coroziune

Încercările în condiții de laborator pot permite fie determinarea eficacității unor sisteme de protecție anticorosivă într-un mediu agresiv dat (deci stabilirea sistemului corespunzător de protecție), fie determinarea comportării unui sistem de protecție anticorosiv în diverse medii agresive (deci stabilirea agresivității chimice în care rezistă un sistem de protecție dat).

Pentru modelarea în laborator a situației reale din exploatare este indicat ca epruvetele să se afle alternativ în stare umedă și respectiv uscată printr-un regim de pulverizare-uscare. Procedul încercării cu ceață corosivă modelează mai bine situația reală a construcțiilor metalice exploatate în atmosferă industrial agresivă.

Camerele cu ceață au atmosfera corosivă realizată prin pulverizare fină cu ajutorul aerului, a diferitelor soluții agresive. Încercarea în ceață salină este un procedeu de atac rapid, determinat de picăturile de soluție de sare care favorizează apariția pilelor de concentrație și aerăție diferențială.

Camerele cu ceață corosivă obținută prin pulverizarea soluției agresive cu aer comprimat sunt cele mai des folosite și permit automatizarea regimului de pulverizare-uscare.

Laboratorul de Prevenire și Protecție Anticorrosivă a Construcțiilor Metalice de la Facultatea de Construcții și Arhitectură din Iași este dotat cu o instalație universală de încercare la coroziune cu ceață agresivă.

Instalația cu ceață pentru încercarea la coroziune (fig.6.1) a sistemelor de protecție anticorrosivă este alcătuită dintr-o cameră cu ceață prevăzută cu un schelet metalic protejat cu material plastic pe care sunt expuse probele pentru încercat.

Atmosfera corosivă este produsă cu ajutorul unui generator de ceață.

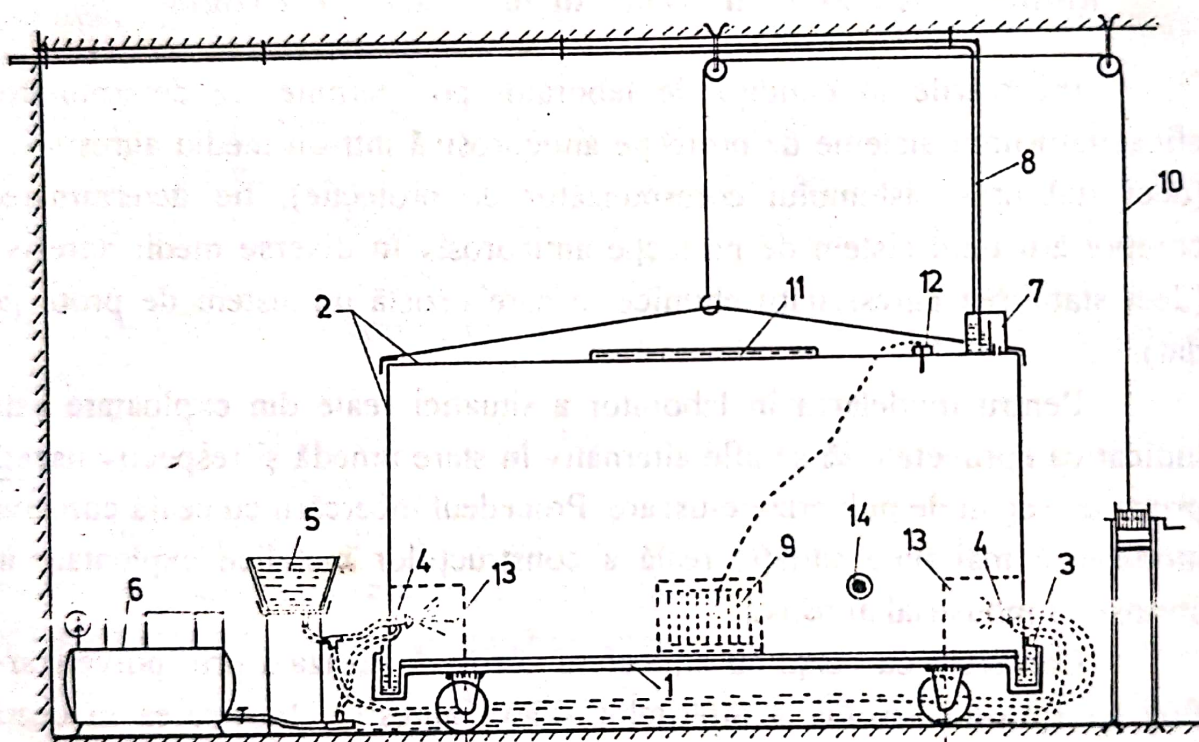


Fig. 6.1. Instalație universală pentru încercarea la coroziune: 1-platformă pentru dispunerea probelor; 2-capac și pereți laterali mobili; 3-jgheab perimetral pentru etanșarea hidraulică; 4-pulverizatoare ceață agresivă; 5-rezervor cu lichid agresiv; 6-electrocompresor; 7-ștuț sifonat; 8-tub evacuare aer sub presiune; 9-aerotermă; 10-sistem de ridicare a capacului și pereților; 11-zonă amovibilă cu sursă exterioră de lumină; 12-traductor de temperatură; 13-orificiu vizitare și reglare pulverizator; 14-racord pentru introducerea gazului agresiv.

Camera cu ceață agresivă este alcătuită din:

- un cadru orizontal de rezistență (prevăzut cu roți montate cu ajutorul unor bucșe, bolțuri și urechi sudate);
- o platformă metalică (1) pentru dispunerea probelor (prinsă cu sudură de cadrul orizontal) prevăzută cu o îmbrăcămintă în pantă din material plastic și cu jgheab perimetral pentru etanșare hidraulică (3);
- capacul (2) prevăzut cu pereți laterali realizați dintr-un schelet metalic protejat cu material plastic și având partea superioară orizontală prevăzută cu o porțiune amovibilă (11) din material plastic transparent, iluminată cu o lampă fluorescentă;
- un ștuț sifonat (7) legat cu un tub flexibil (8) la un orificiu exterior.

Capacul (2) se poate ridica și coborî cu ajutorul unui sistem de scripeți și cablu (10) care se desfășoară de pe un tambur.

Generatorul de ceață agresivă este alcătuit din două pulverizatoare din mase plastice (4) amplasate în două colțuri diametral opuse în interiorul camerei cu ceață, racordate la un rezervor cu soluție agresivă (5), situat în exteriorul camerei cu ceață și la un electrocompresor (6).

Pentru obținerea regimului de uscare a probelor s-a realizat un orificiu în peretele frontal longitudinal unde se atașează o aerotermă (9) care funcționează în regim automat. Un traductor de temperatură (12), întrerupe funcționarea ei la 35°C.

În fața pulverizatorului și a aerotermei sunt dispuse ecrane pentru dispersarea ceții agresive și a aerului cald. Sunt realizate și două orificii (13) pentru vizitarea pulverizatoarelor care permit curățirea și reglarea acestora în timp. La unul din pereții frontali longitudinali este prevăzut un orificiu (14) pentru introducerea gazelor agresive dacă încercările se fac în gaze sau atmosferă agresivă realizată din gaze și vapori de apă.

Avantajul acestei instalații cu cameră cu ceață, cu dimensiuni de 170x110x80cm, este acela că se poate dispune în interiorul ei un număr

mare de probe pe orizontală și pe verticală, realizate la scară naturală sau apropiată de cea naturală, netensionate sau supuse la tensiuni mecanice constante sau variabile în timp, protejate sau neprotejate anticorosiv, supuse la încercări în ceață agresivă, în gaze agresive, în ceață agresivă și lichid agresiv simultan.

6.5.1.1. Modul de lucru

Pentru efectuarea încercării la coroziune a sistemelor de protecție anticorosivă în vederea determinării eficacității acestora se procedează în modul următor:

- După îndepărtarea capacului și a pereților (2) se dispun pe platforma (1) a instalației (prin suspendare sau agățare) probele protejate anticorosiv, respectând condiția ca distanța între probe să fie de minim jumătate din lățimea acestora și nu mai puțin de 15 cm pentru a permite pătrunderea agentului corosiv printre probe;
- După racordarea pulverizatoarelor (4) la sursa de aer comprimat (6) și la rezervorul cu lichid agresiv (5) se umple jgheabul (3) cu lichid pentru etanșarea hidraulică a pereților și se pune la loc capacul cu pereții (2) prin manevrarea sistemului de ridicare (10);
- Se umple rezervorul (5) cu lichidul adecvat încercării și se acumulează aer comprimat în butelia compresorului prin pornirea și apoi oprirea electrocompresorului (6);
- Se racordează instalația de iluminat și aeroterma la o sursă exterioară de curent electric și se pune în funcțiune generatorul de ceață prin manevrarea robinetului sursei exterioare de aer comprimat, care antrenează și lichidul agresiv, pulverizându-l în camera cu ceață;
- După o perioadă de umezire a suprafețelor probelor se pune în funcțiune aeroterma (9) pentru uscarea acestor suprafețe și a cărei oprire se face

automat prin intermediul traductorului de temperatură (12) în momentul când temperatura aerului din interiorul camerei cu ceață ajunge la 35°C.

6.5.2. Determinarea eficacității sistemelor de protecție anticorrosivă cu ajutorul Instalației cu ceață salină

Instalația de încercare la coroziune cu ceață salină, realizată la IAUC București (fig. 6.2), este compusă dintr-o cameră de încercări cu ceață, un pupitru de comandă, un electrocompresor și un rezervor cu soluție salină.

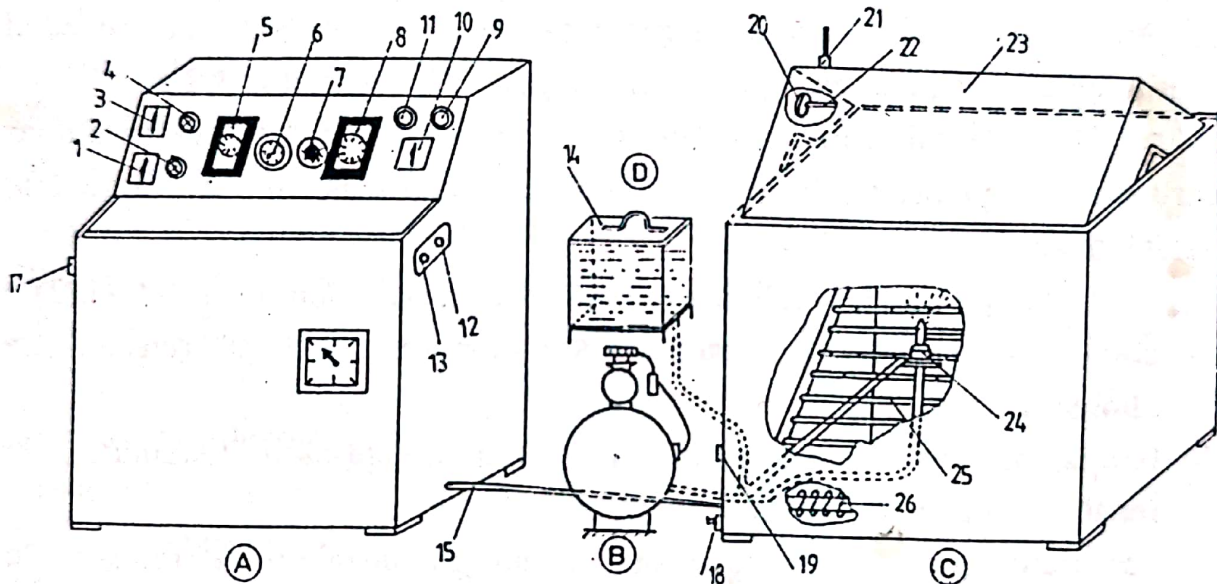


Fig. 6.2 Instalația de încercare la coroziune cu ceață salină: A-pupitrul de comandă; B-compresor pentru aer comprimat; C-cameră de încercare; D-rezervor cu soluție salină.

- *Camera de încercare* are pereții dubli: cel exterior din tablă de oțel, iar cel interior din poliesteri armați cu fibră de sticlă, rezistent la coroziune.

Accesul în camera de încercări se realizează pe la partea superioară, prin intermediul unui capac din material plastic.

Încălzirea se asigură printr-o rezistență electrică montată în spațiul dintre cei doi pereți.

În interiorul camerei de încercări se găsesc conductele flexibile pentru aer și soluția salină, duza de pulverizare, traductorul de temperatură.

- **Pupitrul de comandă (A)** are la partea superioară un panou pe care sunt montate elementele de comandă și control. Conductoare electrice asigură legătura pupitrului de comandă cu camera de încercări și cu electrocompresorul (B).

- **Electrocompresorul (B)** produce aerul necesar pulverizării în camera de încercări. Motorul electrocompresorului se oprește automat când presiunea din recipient ajunge la 5 atm. și pornește automat la 3,8 atm.

Dimensiunile camerei de încercări fiind reduse, pot fi încercate doar epruvete protejate sau neprotejate anticorosiv cu dimensiuni mici, în general netensionate.

Instalația cu ceață salină are următoarele părți componente (fig.6.2):

- 1- comutator pentru conectarea electrocompresorului la rețeaua de alimentare electrică;
- 2- lampa de semnalizare pentru indicarea funcționării sistemului de încălzire al camerei de încercare;
- 3- comutator general de conectare a întregii instalații la rețeaua de alimentare electrică;
- 4- lampă de semnalizare pentru indicarea conectării la rețeaua de alimentare electrică;
- 5- programator pentru stabilirea duratei de întrerupere a pulverizării;
- 6- manometru pentru indicarea presiunii aerului folosit la pulverizare;
- 7- rozetă pentru reglarea presiunii aerului pentru pulverizare;
- 8- programator pentru stabilirea duratei de întrerupere a pulverizării;
- 9- lampă pentru semnalizarea funcționării instalației în ciclu continuu (pulverizare fără întrerupere);

- 10- selector pentru funcționarea sistemului de pulverizare în ciclu continuu sau discontinuu;
- 11- lampă pentru semnalizarea funcționării instalației în ciclu discontinuu;
- 12- priză pentru conectarea traductorului de temperatură la pupitrul de comandă;
- 13- priză pentru conectarea rezistenței de încălzire la pupitrul de comandă;
- 14- rezervor pentru soluție salină cu o capacitate de 30l;
- 15- conductoare electrice;
- 16- termoregulator pentru comanda alimentării cu curent a rezistenței de încălzire (regulatorul intră în funcțiune automat când temperatura scade sub valoarea fixată inițial pe cadran);
- 17- priză pentru conectarea electrocompresorului la pupitrul de comandă;
- 18- ștuț de evacuare a soluției din camera de încercări;
- 19- priză pentru conectarea rezistenței de încălzire la pupitrul de comandă;
- 20- priză pentru conectarea traductorului de temperatură;
- 21- termometru pentru citirea temperaturii din interiorul camerei de încercări;
- 22- traductor de temperatură;
- 23- capac care asigură accesul în camera de încercări;
- 24- pulverizator,
- 25- stativ pentru probele încercate în ceață salină;
- 26- rezistența de încălzire a camerei de încercări.

6.5.2.1. Modul de lucru

- Se verifică mai întâi existența următoarelor elemente și legături:
 - conductele flexibile pentru aer și soluția salină;
 - racordarea electrică a electrocompresorului la pupitrul de comandă;

- cordonul de alimentare a rezistenței electrice de încălzire și racordarea acestuia la pupitrul de comandă;
- cordonul de legătură a traductorului de temperatură la pupitrul de comandă;
- punerea la pământ a întregii instalații prin intermediul bornei de lângă ștuțul de evacuare (18).
- Se execută următoarele operații pregătitoare:
 - umplerea rezervorului (14) cu soluție salină;
 - ungerea cu ulei a compresorului cu aer;
 - introducerea probelor în camera de încercări și fixarea acestora de stativul (25);
 - recordarea pupitrului de comandă la rețeaua electrică de alimentare (priză 22V, 50Hz).
- Funcționarea instalației în cazul încercării în ceață salină, în ciclu discontinuu implică următoarele operații:
 - se fixează valoarea temperaturii de lucru cu ajutorul reperului inferior de pe cadranul regulatorului de temperatură (16);
 - se fixează cu programatorul (5) durata de pulverizare;
 - se fixează cu programatorul (8) durata de întrerupere a pulverizării;
 - se trece comutatorul general (3) de pe poziția "0" pe poziția "1". În momentul rotirii, lampa de semnalizare (4) trebuie să se aprindă, indicând astfel că pupitrul de comandă a fost conectat la rețeaua electrică și că rezistența de încălzire funcționează;
 - se trece comutatorul (1) de pe poziția "0" pe poziția "1", ceea ce permite alimentarea și funcționarea electrocompresorului de aer;
 - se citește la manometrul (6) presiunea aerului manevrând rozeta (7) astfel încât presiunea de lucru a aerului să fie de 0,8..1,2 atm.;
 - se comută selectorul (10) de pe poziția "0" pe poziția "2". În momentul rotirii, lampa de semnalizare (11) trebuie să se aprindă

indicând astfel funcționarea sistemului de pulverizare în camera de încercări;

- se fixează capacul (23) pe camera de încercări și se strâng clemele de plexiglas de la colțurile părții superioare a camerei de încercări.
- Înainte de punerea în funcțiune a instalației se vor verifica :
 - contactele de protecție la racordarea electrică dintre electrocompresor și panoul de comandă ca și la cea dintre rezistența de încălzire și pupitrul de comandă;
 - punerea la pământ a întregii instalații folosind borna de pe camera de încercări și borna de la pupitrul de comandă;
 - fixarea reperului superior al termoregulatorului pe poziția 50°C.

După punerea în funcțiune a instalației este interzisă acționarea butoanelor pupitrului de comandă, acestea fiind utilizate numai pentru stabilirea parametrilor inițiali de funcționare.

Pe durata totală de încercare, de 6 până la 12 luni, se pot utiliza diverse regimuri de atac, imitând ciclurile de umezire-uscare întâlnite în exploatarea construcțiilor metalice în atmosferă agresivă. De exemplu, regimul de atac al probelor protejate poate include:

- pulverizarea la 24 ore timp de 15 minute a soluției agresive;
- introducerea aerului cald la 8 ore după pulverizarea soluției agresive;

Alegerea și respectarea, pe parcursul încercării, a acelorași condiții de agresivitate și a aceluiași regim de atac pentru toate probele încercate, permite analiza comparativă a datelor experimentale obținute. Chiar dacă caracteristicile mediului corosiv nu rămân riguros constante în timp, variația acestora este însă aceeași pentru întregul set de probe încercate.

Durata totală de încercare a probelor trebuie să permită departajarea sistemelor de protecție corosivă încercate, în funcție de rezistența și eficacitatea acestora la acțiunea agentului agresiv considerat.

6.5.2.2. *Prezentarea rezultatelor încercării*

Periodic (de preferință lunar) se examinează vizual comportarea la acțiunea agentului corosiv a fiecărei probe protejate anticorosiv. Examinarea vizuală se referă la depistarea degradărilor produse sistemelor de protecție anticorosivă încercate: schimbarea culorii suprafeței probei, apariția și localizarea punctelor sau petelor cu produse de coroziune, procentul de suprafață degradată, etc.

În urma examinării efectuate se stabilește un calificativ pentru fiecare sistem de protecție anticorosivă încercat. Calificativele ce se acordă sunt: nesatisfăcător, satisfăcător, bine, foarte bine.

Rezultatele periodice se centralizează în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1. Rezultate experimentale: Sisteme de protecție anticorozive încercate în laborator

Regim de atac în 24 de ore: pulverizare 15 minute, uscarea probelor la 8 ore după pulverizare Agent agresiv: NaCl – 3% Numărul de probe încercate. Data începerii încercării.																								
Proba	Modul de curățire a suportului		Modul de aplicare a stratului de protecție		Sistemul de protecție				Examinări vizuale periodice asupra comportării probelor															
	Nr.	Simbol	Strat primar		Strat intermediar		Strat de finisare		După 1 lună		După 2 lună		După 3 lună		După 4 lună		După 5 lună		După 6 lună		Calitativ acordat			
1	B1	sablare	Grund miniu de plumb G351-4	1	Amestec de G351-4 cu email perclorvinil E 4070 (90:10) părți în greutate	1	Amestec E 4070 cu vopsea romflexil PC 505 (50:50 părți în greutate)	1	Suprafață neafectată	Suprafață neafectată	1)	2)	3)	4)	bun	Suprafață neafectată	Suprafață neafectată	După 1 lună	După 2 lună	După 3 lună	După 4 lună	După 5 lună	După 6 lună	Calitativ acordat

1. - schimbarea locală a culorii (0,5% din suprafață)
2. - schimbarea locală a culorii (3% din suprafață)
- început de fisurare a stratului de protecție în zona muchilor probei (6% din perimetru) fără apariția produselor de coroziune
3. - schimbarea pronunțată a culorii (peste 70% din suprafață)
- fisurarea stratului de protecție în zona muchilor probei (35% din perimetru) fără apariția produselor de coroziune
4. - modificarea culorii întregii suprafețe a probei
- degradarea punctiformă și sub formă de pete a zonelor de la muchiile probei (50% din perimetru) și de la două din colțurile probei cu tendință de apariție a produselor de coroziune.



ÎNCERCĂRI ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE

7.1. TIPURI DE ÎMBINĂRI SUDATE

Sudarea este îmbinarea pieselor metalice, cu compoziție chimică identică sau asemănătoare, cu ajutorul căldurii, presiunii sau a ambilor factori, cu sau fără folosirea unui material de adaos similar cu metalul elementelor care se îmbină.

7.1.1. Materiale pentru îmbinări sudate

Calitatea îmbinărilor sudate depinde în mare măsură de caracteristicile metalului de bază și a materialului de adaos.

i) Alegerea metalului din piesele de sudat

Pentru asigurarea caracteristicilor de rezistență ale îmbinărilor sudate, este necesar ca oțelul să fie sudabil.

Sudabilitatea este o proprietate complexă a oțelurilor și se prezintă

printr-o comportare bună la sudare și prin obținerea siguranței sudurii. Verificarea și garantarea celor două proprietăți pentru oțelurile de construcție se face prin încadrarea lor în clase de calitate.

Oțelul pentru construcții se sudează în general în condiții bune, datorită procentului redus de carbon și a elementelor de aliere. Sporirea conținutului de carbon influențează negativ sudabilitatea, deoarece favorizează fragilizarea cusăturilor și apariția fisurilor în zona influențată termic.

Comportarea la sudare a oțelurilor care conțin pe lângă carbon și unele cantități reduse de Si și Mn, se apreciază prin *carbonul echivalent* C_e :

$$C_e = C + (Mn + Si) / 4 \quad [\%] \quad (7.1)$$

Se consideră oțeluri sudabile cele cu $C_e < 0,5 \%$.

Sudarea oțelurilor cu conținut mai mare de carbon necesită măsuri speciale de preîncălzire a pieselor de îmbinat, folosirea unor materiale de adaos cu grad ridicat de plasticitate, sudarea simultană cu mai multe arcuri etc.

Creșterea conținutului în elemente de aliere la oțelurile aliate, poate conduce la apariția structurilor martensitice fragile. Acest fenomen este mai periculos în cazul oțelurilor necalmate, la care apar segregări frecvente.

Comportarea la sudare a oțelurilor aliate după compoziția chimică, se apreciază cu ajutorul conținutului de carbon echivalent:

$$C_e = C + Mn / 6 + (Cu + Ni) / 15 \quad [\%] \quad (7.2)$$

ii) Alegerea materialelor de adaos

La alegerea materialului de adaos este necesar să se țină seama de compoziția chimică a materialului de bază și a celui depus prin sudare, de proprietățile mecanice și tehnologice ale metalului de bază și ale sudurii realizate cu material de adaos, structura metalografică a îmbinării sudate, posibilitățile practice de sudare și condițiile de lucru ale construcției sudate.

Materialul de adaos ales trebuie să sigure în cusătura de sudură caracteristici de rezistență cel puțin egale cu ale metalului de bază, fără să creeze neomogenitate chimică periculoasă.

Materialurile de adaos utilizate la sudarea metalelor sunt următoarele:

- electrozi înveliți;
- sârme de sudare și flux pentru sudare;
- sârme de sudare, baghete metalice și gaze de sudare;
- gaze, electrozi nefuzibili și baghete;
- alte materiale pentru sudare și procedee conexe.

Clasificarea materialelor de adaos este prezentată în figura 7.1.

Electrozii metalici cu înveliș fuzibil sunt destinați sudării cu arc electric a elementelor din oțel carbon și oțel slab aliat, ușor sudabile. Electrocul învelit se compune dintr-o vergea cu diametrul de 2...6 mm, lungimea de 300, 350 sau 450 mm și înveliș cu grosime și caracteristici diferite.

Perfecționarea procedeelor de sudare a amplificat rolul electrozilor care îndeplinesc funcțiuni multiple: *ionizatoare* (menține stabilitatea arcului electric), *protectoare* (împotriva acțiunii nefavorabile a oxigenului și azotului din atmosferă), *moderatoare* (crusta de zgură reduce viteza de răcire și îmbunătățește caracteristicile plastice) și *dezoxidantă* (purificare). Pe lângă acestea, învelișul poate avea rol de aliere, îmbunătățind calitatea metalului depus.

După destinația pe care o au electrozii înveliți se clasifică în felul următor:

- grupa a I-a: electrozi pentru sudarea oțelurilor carbon și slab aliate (STAS 1125/2-81);

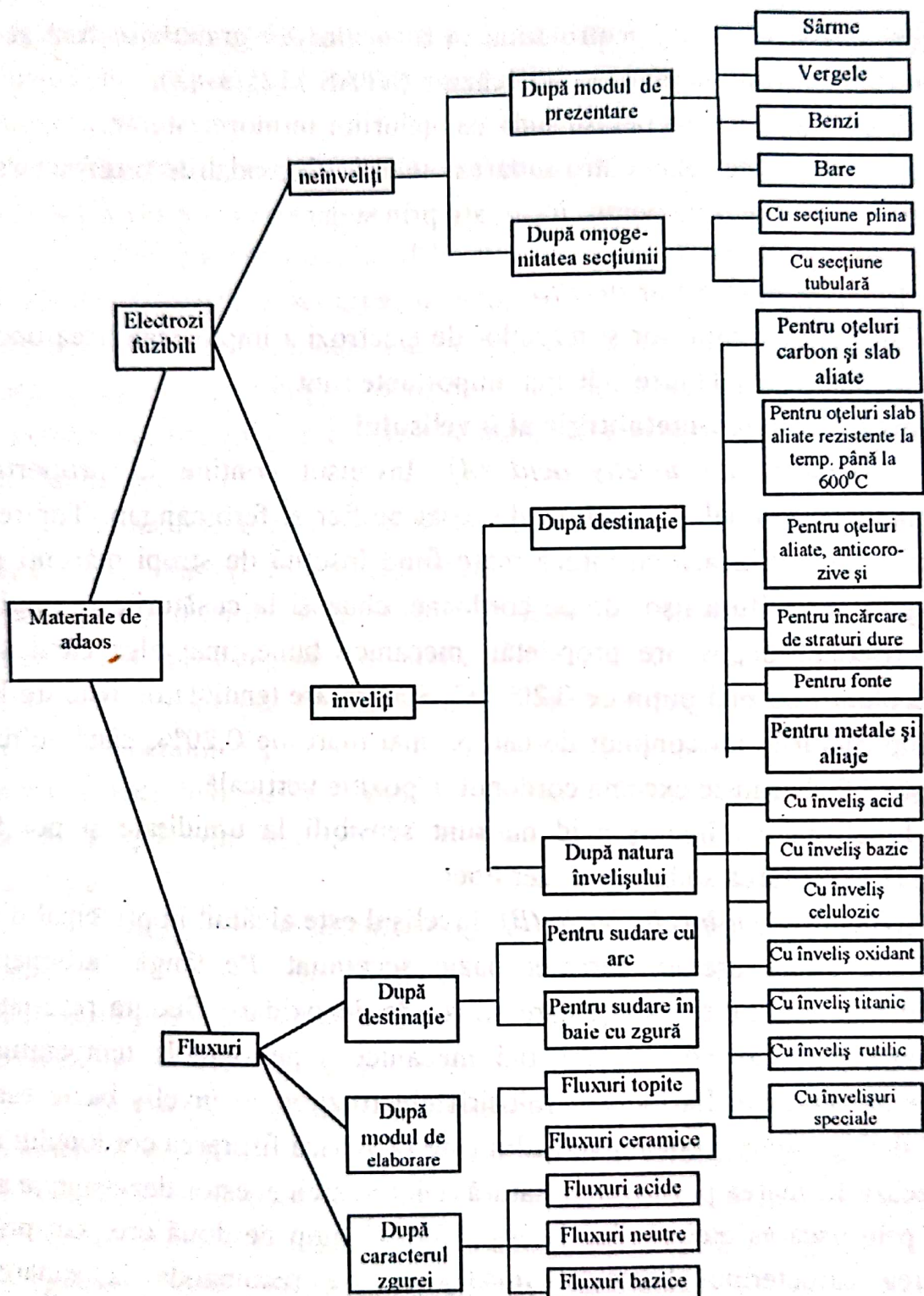


Fig.7.1. Clasificarea materialelor de adaos

- grupa a II-a: electrozi pentru sudarea oțelurilor cu granulație fină și a oțelurilor utilizate la temperaturi scăzute (STAS 1125/3-82);
- grupa a III-a: electrozi pentru sudarea oțelurilor termorezistente;
- grupa a IV-a: electrozi pentru sudarea oțelurilor inoxidabile și refractare;
- grupa a V-a: electrozi pentru încărcare prin sudare.

1°. Clasificarea electrozilor înveliți

Diversitatea tipurilor și mărcilor de electrozi a impus stabilirea unor criterii de clasificare. Dintre cele mai importante sunt:

a) caracterul chimico-metalurgic al învelișului

- *Electrozi cu înveliș acid (A)*. Învelișul conține în proporție determinată SiO_2 și silicați, alături de oxizi de fier și feromangan. Topirea electrozilor se realizează cu viteză mare fiind însoțită de stropi mărunți și deși. Zgura se înlătură ușor de pe cordoane, chiar și la cusăturile în unghi ascuțit. Metalul depus are proprietăți mecanice bune, mai ales când se sudează oțeluri cu mai puțin de 0,20% C. Sudura are tendința de fisurare la cald când oțelurile au conținut de carbon mai mare de 0,20%, când sulful depășește 0,05% sau se execută cordonul în poziție verticală.

Electrozii cu înveliș acid nu sunt sensibili la umiditate și pot fi utilizați la executarea sudurilor în aer liber.

- *Electrozi cu înveliș bazic (B)*. Învelișul este alcătuit în principal din CaCO_3 , iar zgura are un caracter bazic accentuat. Pe lângă carbonați, învelișul mai conține feroaliaje care au rol de dezoxidare. Sudura rezultată este foarte pură, având caracteristici mecanice superioare la temperaturi normale și negative. Extinderea folosirii electrozilor cu înveliș bazic este frânată de higroscopicitatea învelișului care provoacă fisurarea cordonului și favorizează formarea porilor în cusătură. Diminuarea acestor dezavantaje se obține prin uscarea electrozilor la 200...300°C timp de două ore, sau prin atenuarea caracterului bazic al învelișului. Se recomandă la sudarea

construcțiilor din oțel slab aliat și cu granulație fină (OCS), a elementelor de construcție importante supuse la sarcini dinamice și la fenomenul de oboseală.

Electrozii cu înveliș bazic se pot utiliza la toate pozițiile de sudare, mai puțin vertical descendent.

- *Electrozi cu înveliș rutilic (R)*. Acești electrozi formează zguri mai vâscoase, favorizând sudarea în poziție verticală ascendentă și peste cap. Învelișul are grosime medie sau groasă, iar alimentarea circuitului se poate face la curent continuu și alternativ. Cusătura sudată realizată cu acești electrozi are tendința de fisurare la cald. La sudare, se produce împrôscarea metalului topit.

Folosirea acestor electrozi în construcții este condiționată, în general de aceleași restricții ca și la electrozii cu înveliș acid.

- *Electrozi cu înveliș titani (T)*. Învelișul electrozilor este de grosime medie, conținând în principal oxid de titan, silicați, carbonați și feromangan. Conținutul de oxigen și azot este mai redus decât la electrozii cu înveliș acid, iar metalul depus prin sudare cu electrozi titanici are rezistență mai mare și este mai puțin sensibil la fisurare. De aceea, se pot folosi și la sudarea oțelurilor slab aliate cu Mn, sau la sudarea oțelurilor carbon calmate.

Învelișurile electrozilor mai pot fi: *oxidant (O)*, *penetrant (P)*, *celulozic (C)*, *special (S)*. Cele mai des utilizate în construcții metalice sunt învelișul rutilic, titanic și cel bazic.

b) după grosimea învelișului

În funcție de raportul dintre diametrul electrodului învelit D și diametrul vergelei d , se deosebesc următoarele categorii:

- *s- electrozi cu înveliș subțire*, cu $D/d < 1,40$;
- *m- electrozi cu înveliș mediu*, cu $D/d = 1,40 \dots 1,60$;
- *g- electrozi cu înveliș gros*, cu $D/d = 1,60 \dots 2,00$.

Lungimea electrozilor înveliți L_e este corelată cu diametrul vergelei, în scopul evitării supraîncălzirii electrodului, astfel: pentru $d < 3,20$ mm se ia $L_e = 350$ mm, pentru $d \geq 3,20$ mm se ia $L_e = 450$ mm.

c) după poziția de sudare, simbolizarea se face în felul următor:

1. electrozi pentru sudare în toate pozițiile;
2. electrozi pentru sudare în toate pozițiile, exclusiv vertical descendent;
3. electrozi pentru sudare în poziția orizontală în jgheab și orizontală pe perete vertical;
4. electrozi pentru sudare în poziție orizontală, orizontală în jgheab;
5. electrozi pentru sudare în poziție orizontală, orizontală în jgheab, orizontală pe perete vertical și verticală descendentă;

d) după caracteristicile curentului de sudare, electrozii se simbolizează astfel:

0. curent continuu cu polaritate inversă (polul plus la electrod);
1. curent continuu cu polaritate inversă sau directă (polul minus la electrod) și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 50 V;
2. curent continuu cu polaritate directă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 50 V;
3. curent continuu cu polaritate inversă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 50 V;
4. curent continuu cu polaritate inversă sau directă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 70 V;
5. curent continuu cu polaritate directă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 70 V;
6. curent continuu cu polaritate inversă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 70 V;
7. curent continuu cu polaritate inversă sau directă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 90 V;

8. curent continuu cu polaritate directă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 90 V;
9. curent continuu cu polaritate inversă și alternativ cu tensiunea nominală de mers în gol de 90 V.

e) după caracteristicile tehnice speciale ale electrozilor, simbolizarea se face după cum urmează:

H - electrozi cu înveliș cu conținut redus de hidrogen;

P - electrozi cu pătrundere adâncă;

Fe - electrozi cu înveliș care conține cel puțin 15 % pulbere de fier.

f) din punct de vedere funcțional, sunt trei grupe de electrozi:

E_r - electrozi rapizi care permit sudarea cu viteze mari;

E_u - electrozi de umplere care depun mult metal în unitatea de timp;

E_s - electrozi pentru sudare în poziție a căror zgură se solidifică repede.

Electrozii pentru sudarea oțelurilor de uz general se notează cu litera E, iar electrozii pentru sudarea oțelurilor cu granulație fină și a celor utilizate la temperaturi scăzute se notează cu două litere, EY. În principiu, notarea unui electrod cuprinde următoarele caracteristici:

- simbol general E, EY;
- rezistența la rupere R_m [N/mm²];
- limita de curgere $R_{0,2}$ [N/mm²];
- energia de rupere KV la 0°C, 27 J: 1 pentru temperatura de +20°C, 2 pentru 0°C, 3 pentru -20°C, 4 pentru -30°C, 5 pentru -40°C, 6 pentru -50°C, 7 pentru -60°C, 8 pentru -80°C și 9 pentru -100°C.
- tipul de înveliș (B, R, etc.);
- poziția de sudare (1...5);
- curentul de sudare (0...9);
- conținutul de hidrogen, care poate să apară la electrozii bazici, se notează cu H și o cifră care reprezintă conținutul de hidrogen difuzibil în

cm^3 la 100 g metal depus. Când acest conținut este mai mare de 15 cm^3 la 100 g metal depus, nu se mai înscrie litera H.

Exemplu de simbolizare a unei mărci de electrod folosit pentru sudarea unui oțel carbon : **E.43.2.R.2 STAS 1125/2-81.**

Exemplu de simbolizare a unei mărci de electrod folosit pentru sudarea unui oțel exploatat la temperaturi scăzute: **EY.50.7.B.2.0.H5 STAS 1125/3-82.**

2°. Alegerea sârmei pentru sudare și a fluxului

Sârma pentru sudare se folosește la sudura electrică cu arc acoperit sub strat de flux, pentru sudarea în atmosferă de gaze protectoare (CO_2) și pentru sudarea manuală cu gaz (oxiacetilenică).

Criteriul metalurgic este hotărâtor în alegerea sârmelor întrucât în procesul de sudare are loc modificări ale compoziției chimice.

Compozițiile chimice ale categoriilor de sârme din oțel pentru sudare sunt precizate în STAS 1126-80.

Sârmele pentru sudarea sub strat de flux sunt de regulă de marcă S12Mn2 (sârme aliate cu mangan) sau S10Mn1Ni1 (sârme aliate cu mangan și nichel).

Sârmele pentru sudare în procedeul cu protecție de CO_2 sunt de marcă S12Mn2S (sârme aliate cu mangan și siliciu).

Pentru sudarea oțelurilor carbon obișnuite cu conținut redus de mangan ($\text{Mn} \leq 0,60\%$) se folosește sârma S10.

Fluxul de protecție poate fi cu caracter acid, neutru sau bazic și este definit prin STAS 9477-79. La sudarea construcțiilor metalice se folosesc de obicei fondanții FB 10 cu caracter neutru, FB 20 cu caracter bazic și FSM 37 cu caracter acid. La alegerea fondantului se are în vedere tipul sudurii, metalul din piesele de sudat și din sârma pentru sudare.

7.1.2. Clasificarea îmbinărilor sudate

- După modul de dispunere a pieselor, îmbinările sudate se clasifică în:
- îmbinări cap la cap, în care elementele sunt dispuse în prelungirea celui alt (fig. 7.2);

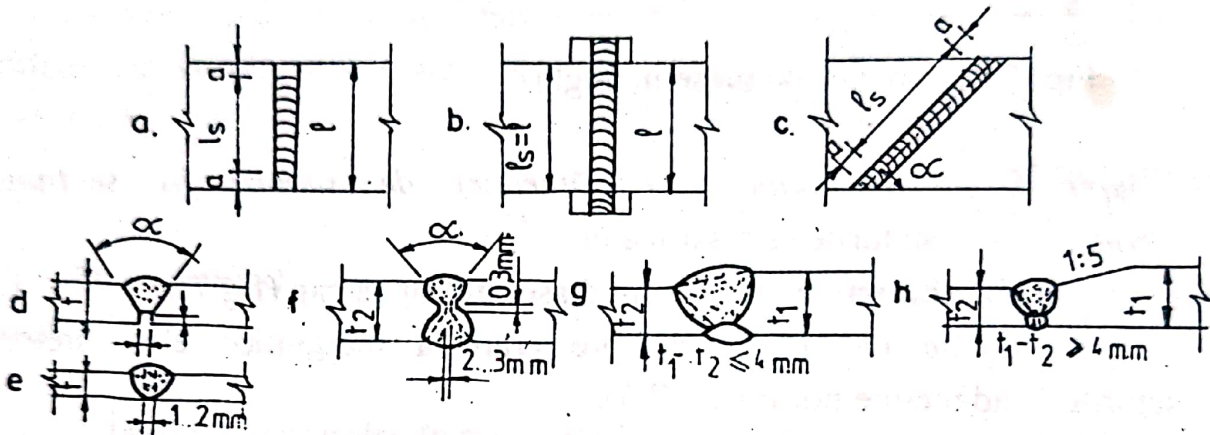


Fig. 7.2. Îmbinări sudate cap la cap: a, b, c- moduri de realizare; d....g- secțiuni transversale în cordoane.

- îmbinări cu piese suprapuse; figura 7.3.

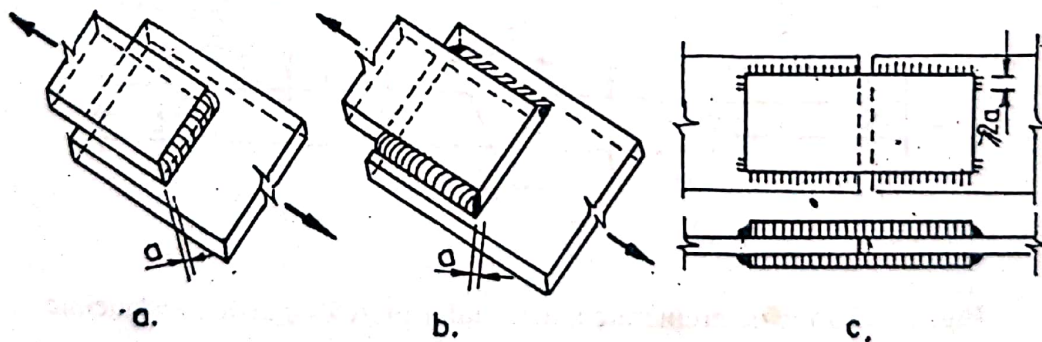


Fig. 7.3. Îmbinări cu piese suprapuse: a-sudură frontală; b-sudură laterală; c-îmbinare cu eclise.

- îmbinări în care piesele se întâlnesc sub un unghi oarecare, figura 7.4.

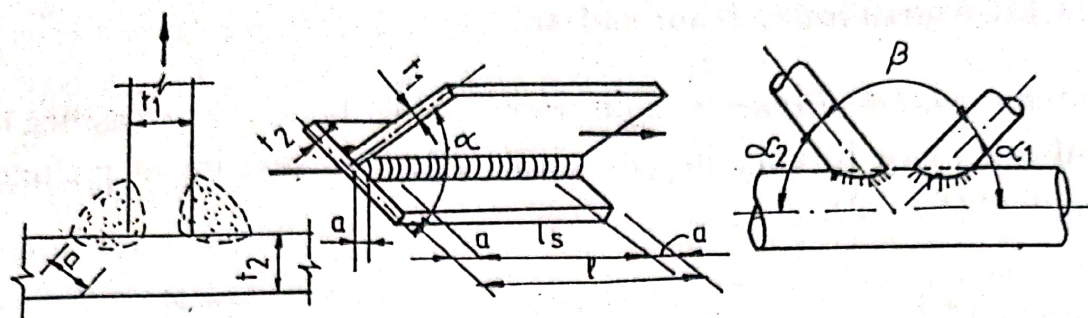


Fig. 7.4. Imbinări cu piese în unghi.

➤ După forma cordoanelor (cusăturilor) de sudură în secțiune transversală, sudurile se clasifică în:

- cusături în adâncime, piesele fiind așezate cap la cap (fig. 7.1).

În funcție de modul de prelucrare a marginilor elementelor, cusăturile în adâncime pot fi (fig. 7.5):

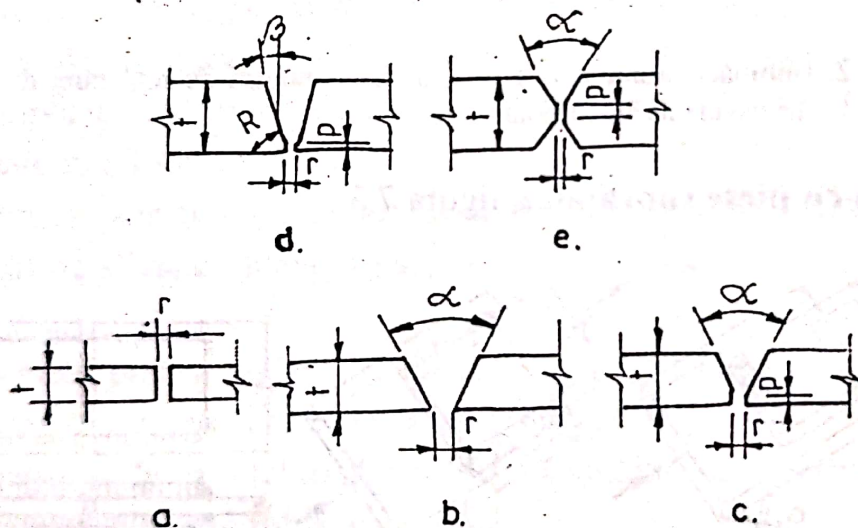


Fig. 7.5. Forme de prelucrare a marginilor pieselor sudate în adâncime

- cusături fără prelucrarea marginilor elementelor, (fig. 7.2, e și fig. 7.5, a). Grosimea pieselor nu trebuie să depășească 4 mm în cazul sudării normale și 8 mm în cazul sudării automate.

- *cusături cu marginile elementelor prelucrate prin șanfrenare, (fig. 7.2, d...h și fig. 7.5, b...e).*

Sudurile în adâncime prezintă avantajul transmiterii uniforme și directe a eforturilor.

Elementele unei îmbinări sudate cap la cap sunt arătate în figura 7.6.

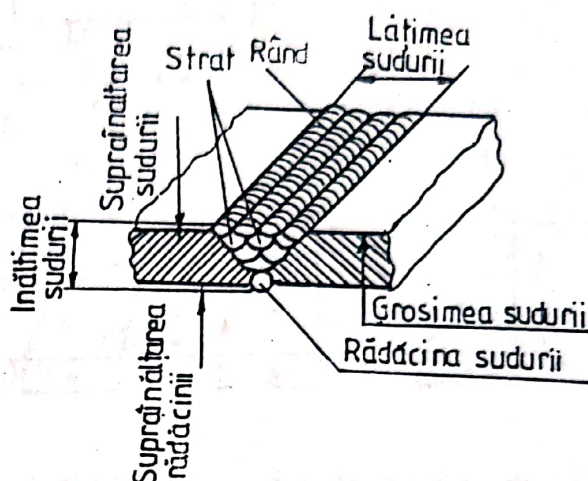


Fig. 7.6. Elementele unei îmbinări sudate

Îmbinările pieselor în formă de T se realizează cu suduri în K sau în V, figura 7.7.

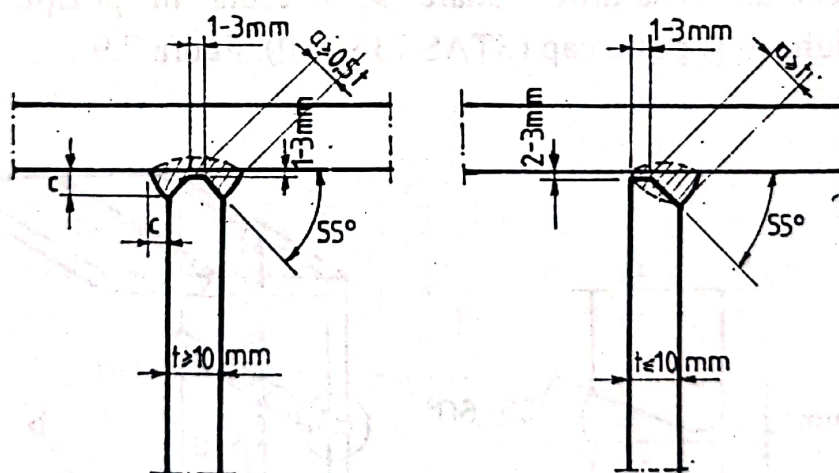


Fig. 7.7. Sudarea pieselor în T

- **cusături de colț sau în relief, (fig. 7.3 și fig. 7.8), se execută în unghiul format de marginile pieselor suprapuse fără a mai fi necesară prelucrarea acestora.**

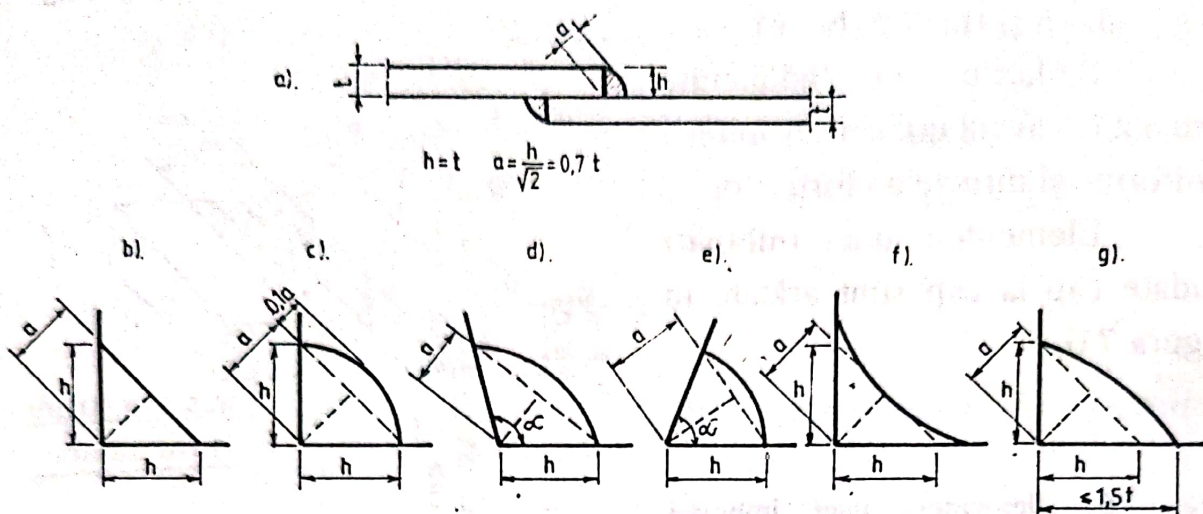


Fig. 7.8. Cusături de colț:: b-plană; c, d, e-convexă; g-alungită.

3°. Clășificarea cusăturilor sudate după poziția de sudare

În general, cusăturile sudate se execută în poziție orizontală, verticală, în jgheab și peste cap (STAS 7365-80), figura 7.9.

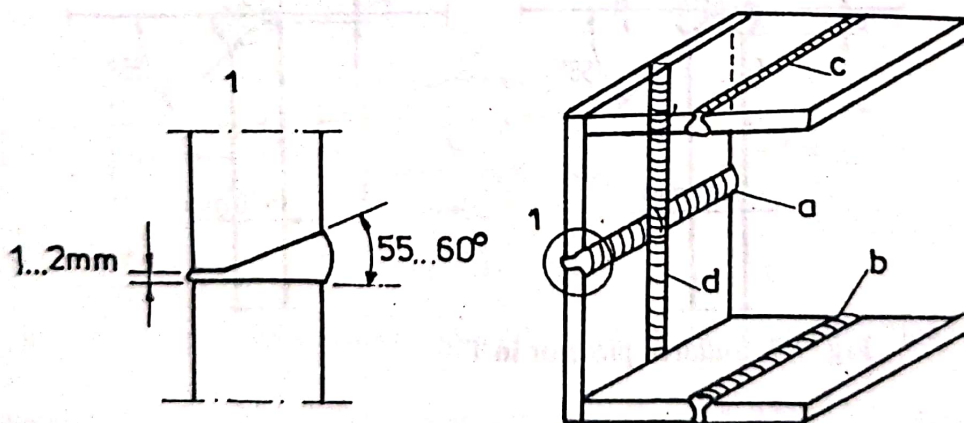


Fig. 7.9. Poziția sudurilor: a-sudură orizontală de perete; b-sudură orizontală inferioară; c-sudură superioară; d-sudură verticală.

Îmbinările de uzină se realizează în general în poziție orizontală sau în jgheab, iar cele de șantier depind de orientarea îmbinării la locul de execuție.

7.2. PROCEDEE DE SUDARE

Ansamblul operațiilor prin care se realizează îmbinarea sudată reprezintă **procedeul de sudare**.

Alegerea procedeelor de sudare este determinată, pe lângă compoziția chimică, de grosimea și forma pieselor care favorizează o răcire rapidă și formarea structurilor fragile.

După modul de desfășurare a procedeului de sudare, îmbinările sudate pot fi realizate astfel:

- prin topire (fig. 7.10),

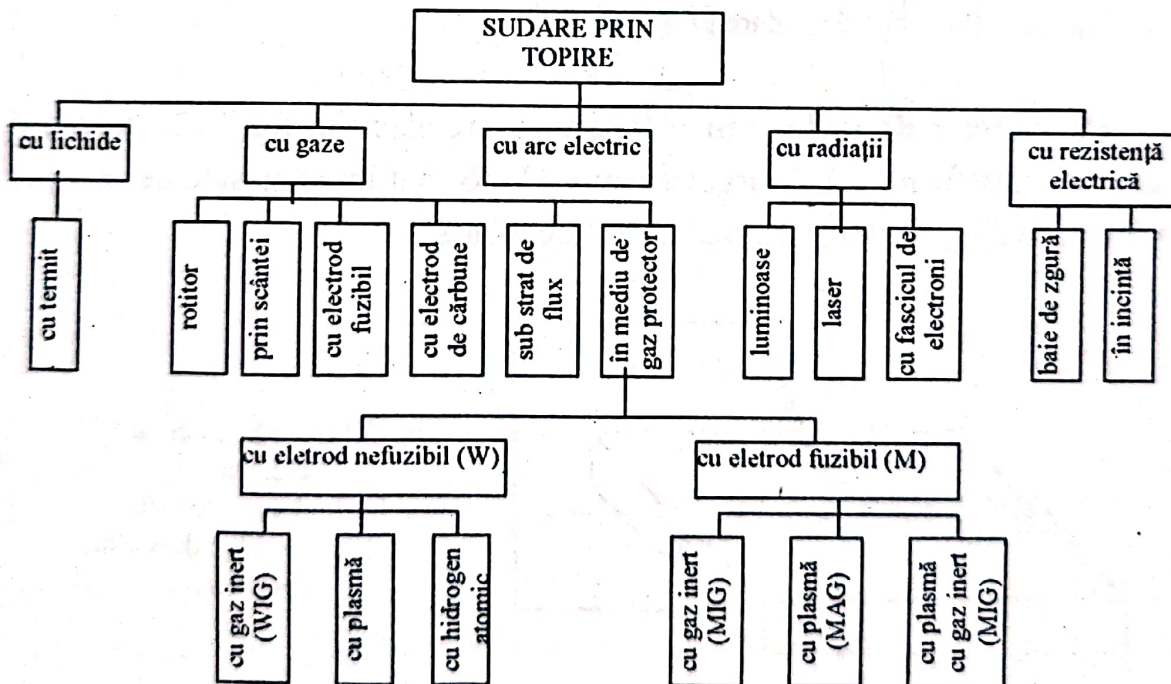


Fig. 7.10. Procede de sudare prin topire

- prin presiune (fig.7.11).

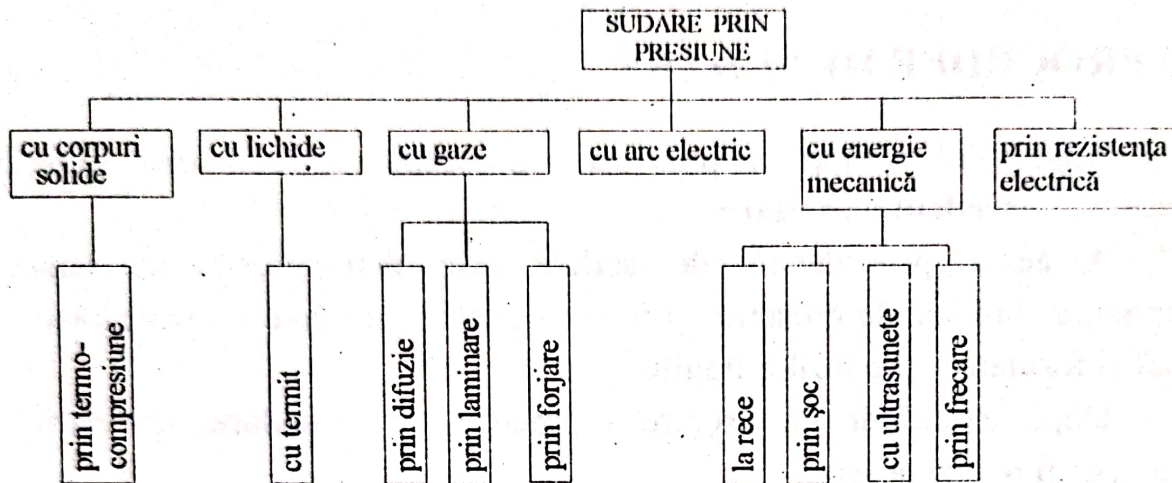


Fig.7.11. Procedee de sudare prin presiune

Procedeele de sudare prin topire cu arc electric (fig.7.12), folosesc energia calorică furnizată de arcul electric (1) format între piesele de oțel (2) și un electrod (3) care asigură materialul de adaos.

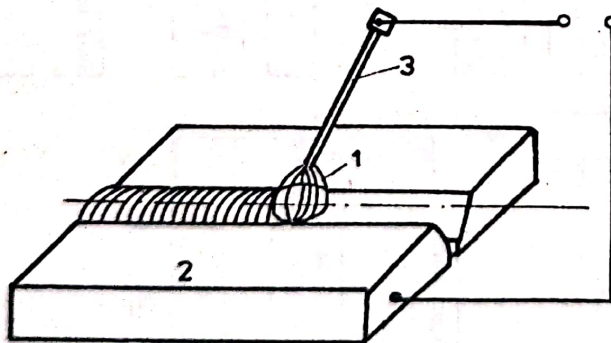


Fig. 7.12. Sudarea cu arc electric:
1-arc electric;
2-piese de sudat;
3-electrod.

Arcul topește simultan metalul de bază și electrodul, iar câmpul electromagnetic care însoțește arcul dirijează materialul de adaos către

materialul de bază. În acest timp, electrodul este deplasat manual sau mecanic în lungul cusăturii. Viteza de deplasare se alege astfel încât să asigure topirea corespunzătoare a pieselor și depunerea materialului de adaos în cantitate suficientă.

Îmbinarea sudată realizată cu arc electric are următoarele părți (fig. 7.13):

Fig. 7.13. Componentele sudurii realizate cu arc electric:

- 1-cusătura;
- 2- zona influențată termic;
- 3- metalul de bază.

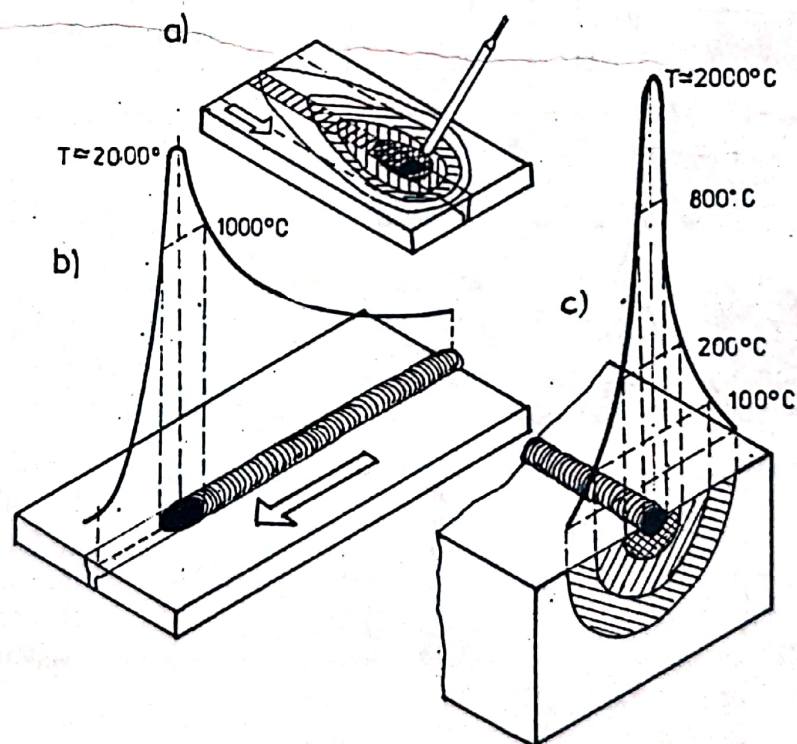
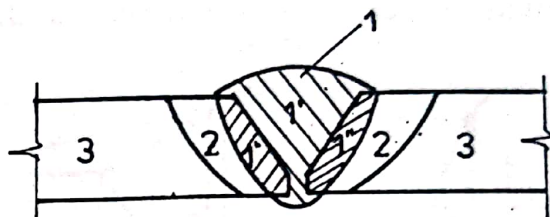
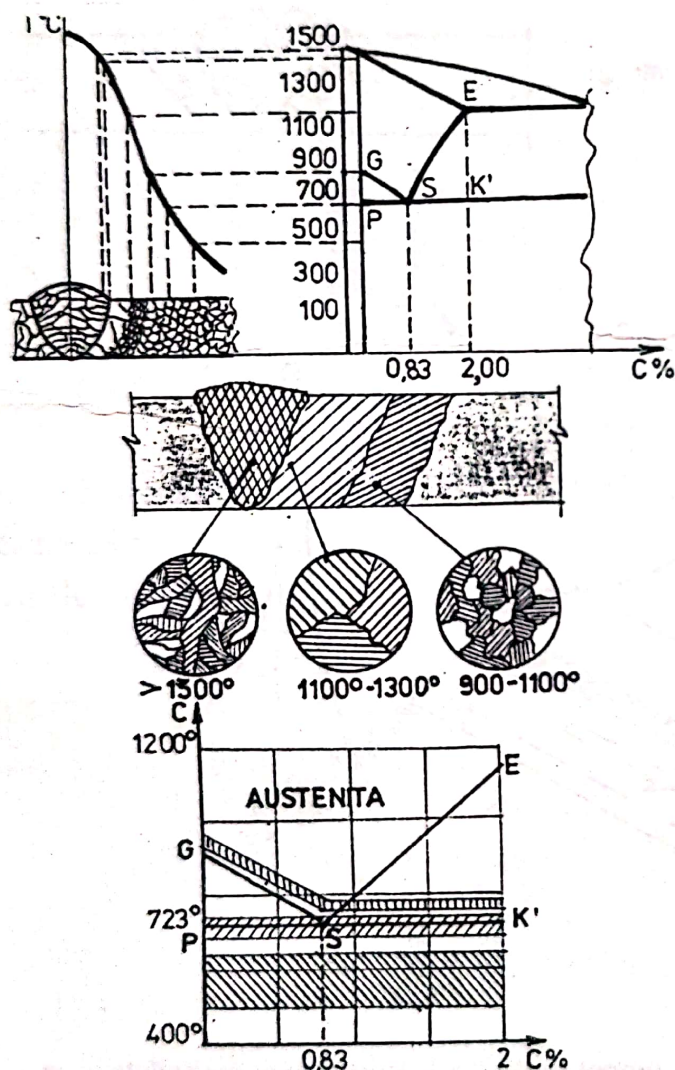


Fig. 7.14. Variația temperaturii în timpul sudării: a-la suprafața piesei sudate; b-în lungul cusăturii; c-în secțiunea piesei sudate.

- *cusătura* (1) este partea care leagă piesele de sudat, formată prin solidificarea băii de metal topit. Baia de sudură se formează din metalul de adaos topit în procesul de sudare (1) și din metalul de bază topit (1").
- *zona influențată termic (ZIT)*, notată cu 2, este o parte a metalului de bază în care temperatura determină transformări structurale. Variația temperaturii la suprafața piesei sudate, în lungul cordonului de sudură și în secțiunea piesei sudate este arătată în figura 7.14.



În timpul sudării, temperatura variază de la mijlocul cordonului de sudură spre marginea piesei și produce în ZIT transformări arătate în figura 7.15.

Fig.7.15. Transformări termice ce au loc la încălzirea oțelului carbon în timpul procesului de sudare.

Funcție de conținutul în carbon a materialului de bază, în ZIT iau naștere, printr-o răcire lentă, următorii constituenți ai oțelului (fig.7.16).

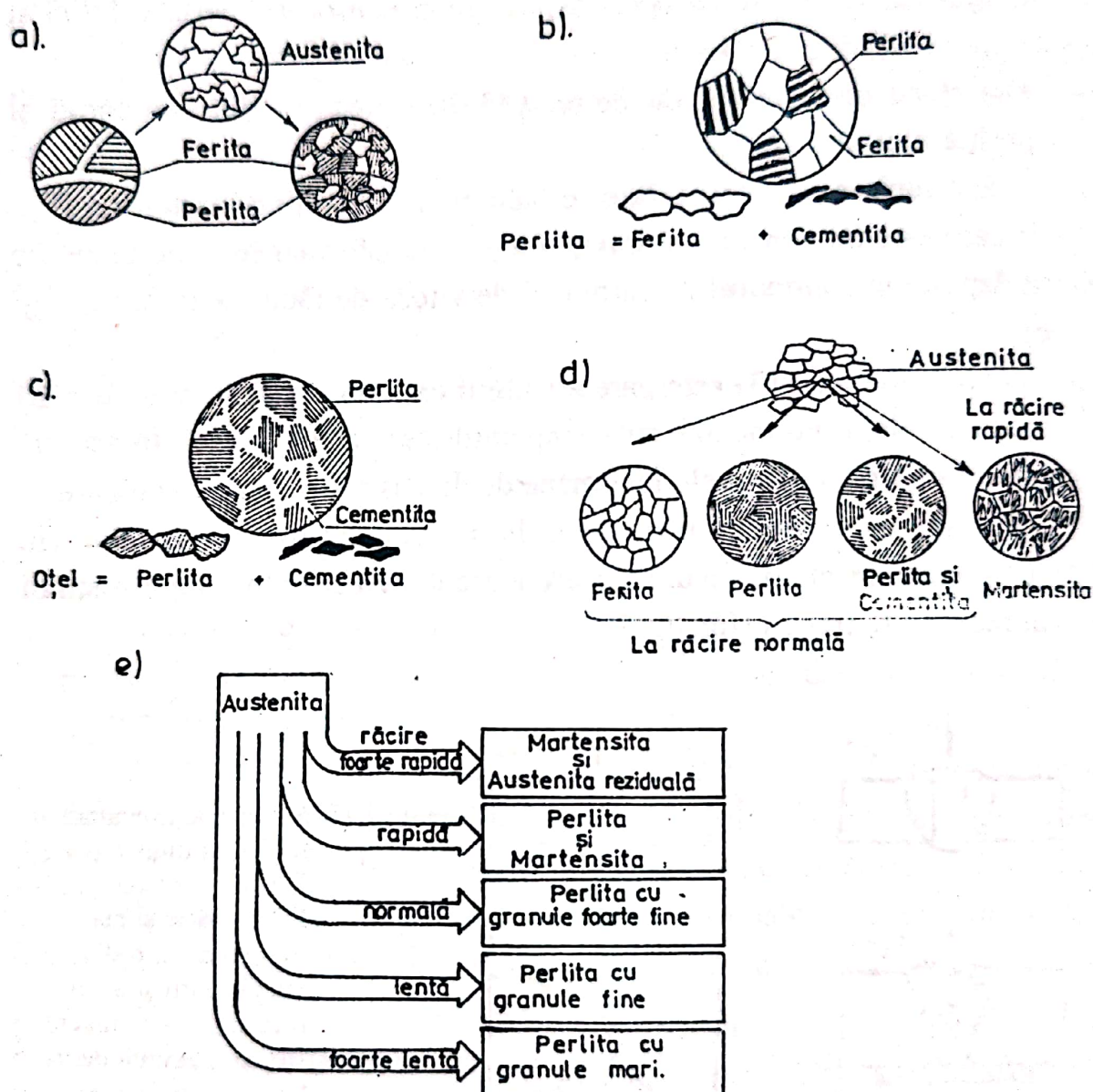


Fig.7.16. Structura oțelului în ZIT după realizarea cordonului de sudură: a-oțel cu 0,02...0,83%C; b-oțel cu 0,83%C; c-oțel cu mai mult de 0,83%C; d-tipuri de structuri cristaline funcție de viteza de răcire; e-transformările structurale ale oțelului care depind de conținutul în C și de viteza de răcire.

- aliajul cu 0,02...0,83 %C ce are o structură compusă din ferită și perlită la temperaturi sub 723°C, figura 7.16, a.
- aliajul cu conținutul de 0,83 %C ce are structura din perlită (ferită și cementită), figura 7.16, b;
- aliajul cu un conținut de peste 0,83%C constituit din cementită și perlită, figura 7.16, c.

Când răcirea pieselor sudate se face brusc, se obține martensita (fig. 7.16, d) care este un constituent dur și fragil. Transformările structurale ale oțelului depind de conținutul de carbon și de viteza de răcire a acestuia (fig. 7.16, e).

- *metalul de bază* (3) este partea sudurii care nu a suferit transformări structurale, fiind încălzit sub temperatura critică de 723°C. În această zonă sunt posibile unele fenomene de detensionare și recristalizare.

Executarea sudurii se poate face dintr-o singură parte a pieselor sau din ambele părți, printr-o singură trecere a arcului electric în lungul rostului sau prin mai multe treceri (fig. 7.17).

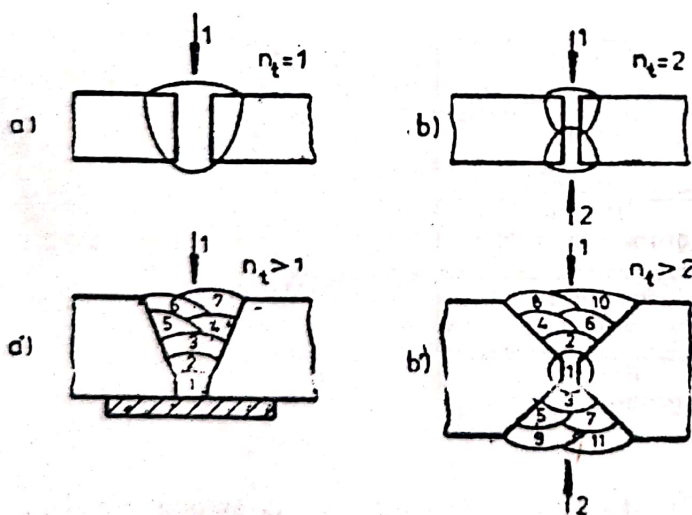


Fig. 7.17. Moduri de executare a sudurii: a-dintr-o parte și o singură trecere; a'-dintr-o parte și mai multe treceri; b-din ambele părți și două treceri; b'- din ambele părți și mai mult decât două treceri (n_t este numărul de treceri).

Pentru obținerea unor suduri de calitate, se pot folosi următoarele tratamente termice:

- *preîncălzirea* pieselor de sudat. Valoarea temperaturii de preîncălzire se stabilește având în vedere natura și masa metalului de bază, temperatura mediului ambiant, procedeul și regimul de sudare.

Preîncălzirea se face pe ansamblul pieselor, sau numai local pe o fâșie cu lățimea de 6...12 ori grosimea acestora, dar nu mai mică de 70...80 cm.

Preîncălzirea mărește viteza de încălzire în zona cusăturii, reducând lățimea ZIT și viteza de răcire a metalului.

- *postîncălzirea* se aplică structurilor deja sudate și se poate realiza sub diferite forme:

- recoacere: încălzire deasupra temperaturii de transformare, urmată de o răcire lentă în cuptorul de tratament;
- normalizare: încălzire în condițiile de la recoacere, dar urmată de răcire în aer;
- detensionare: încălzire la temperaturi cu puțin sub cele de transformare, urmată de o răcire controlată;
- revenirea: asemănătoare cu detensionarea, dar temperaturile de încălzire sunt mai coborâte.

Recoacerea și normalizarea reduc tensiunile reziduale, uniformizează mărimea grăunților cristalini, cresc plasticitatea metalului sau aliajului metalic, dar reduc rezistențele mecanice ale acestora.

Detensionarea micșorează tensiunile reziduale care apar în procesul de sudare, mărește rezistența la coroziune, crește durata de exploatare a pieselor când sudurile sunt supuse la șocuri și la temperaturi scăzute.

- *încălzirea între două treceri* succesive se folosește pentru a preveni încălzirea excesivă a regiunii unde se sudează prin aplicarea noului strat peste cel depus anterior;

- *temperatura mediului ambiant* influențează sudarea atunci când aceasta se realizează în exteriorul unui spațiu închis (în spații de producție

se consideră temperatura ambiantă de 10...25°C). S-a stabilit ca +5°C să fie temperatura minimă la care se mai poate suda în spații deschise.

Procedeele de sudare prin presiune folosesc căldura dezvoltată prin efectul caloric al unui curent electric cu intensitate mare și tensiune redusă care trece prin zona îmbinării.

Datorită căldurii, metalul este adus în stare plastică; concomitent se exercită o presiune din exterior asupra regiunii în care se realizează îmbinarea.

7.3. ÎNCERCĂRI MECANICE ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE

7.3.1. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate cap la cap

Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate cap la cap (STAS 5540/2-85), se execută pe:

- *epruvete plate, cu porțiune calibrată, din table de orice grosime (fig.7.18):*
 - epruvete fâșii, cu porțiune calibrată, din țevi cu diametrul exterior mai mare de 51 mm (fig.7.19);
 - epruvete rotunde, cu porțiune calibrată, din bare rotunde cu diametrul maxim de 40 mm sau din bare poligonale cu diametrul cercului înscris de max. 40 mm (fig.7.20);
 - epruvete plate, fără porțiune calibrată, din bare rotunde sau cu secțiune poligonală (fig. 7.21);

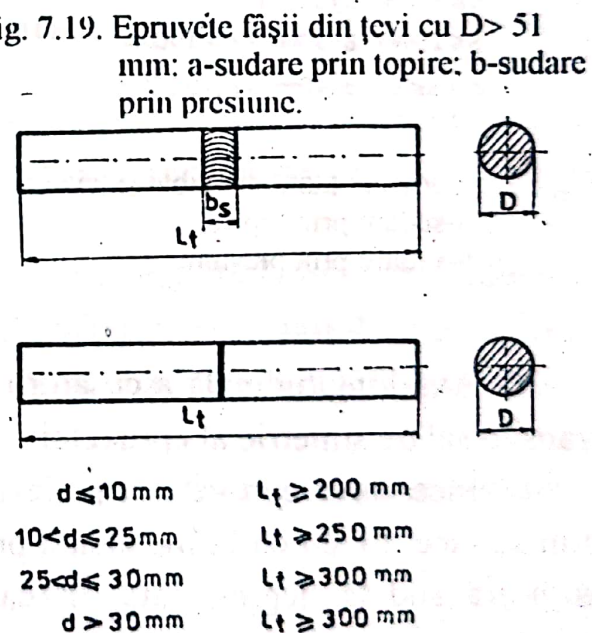
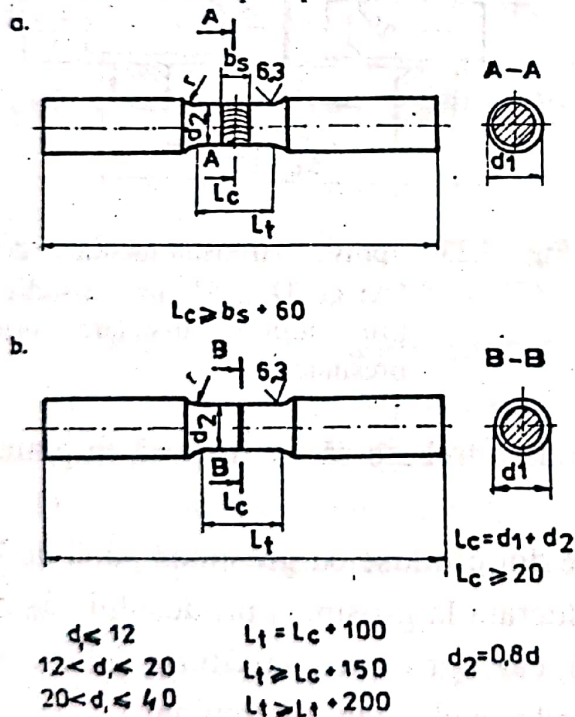
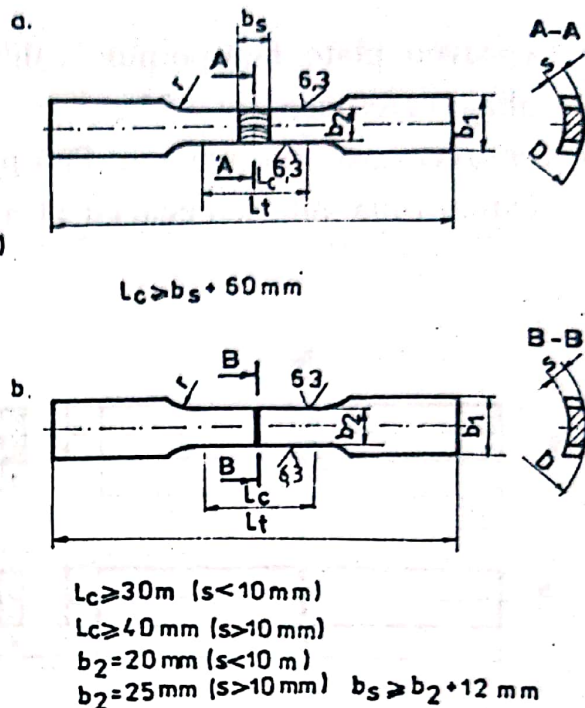
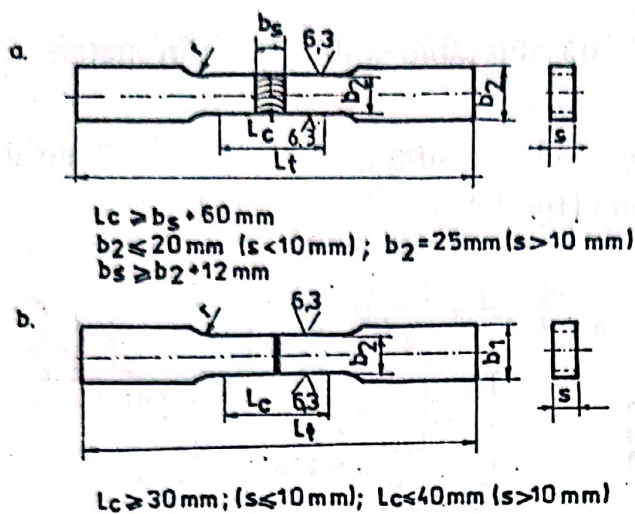


Fig. 7.20. Epruvete rotunde din bare rotunde cu $d \leq 40 \text{ mm}$: a-sudare prin topire; b-sudare prin presiune.

Fig. 7.21. Epruvete plate din bare cu secțiunea rotundă sau poligonală: a-sudare prin topire; b-sudare prin presiune.

- epruvete plate, fără porțiune calibrată, din table și din țevi, din metale și aliaje neferoase (fig.7.22);
- epruvete tronson-tubulare, fără porțiune calibrată, din țevi cu diametrul exterior mai mic sau egal cu 51 mm (fig.7.23).

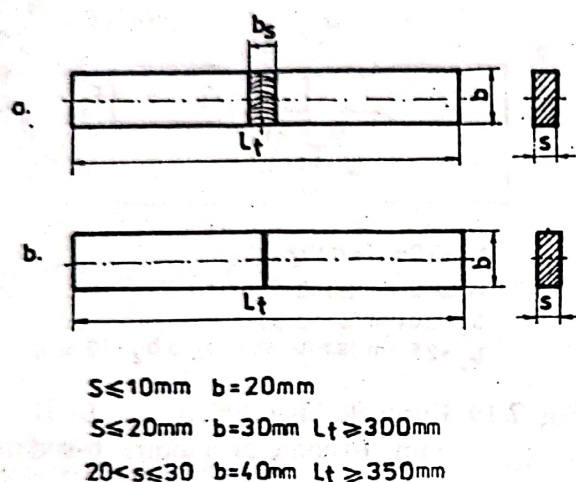


Fig.7.22. Epruvete plate din table și țevi:
a-sudare prin topire;
b-sudare prin presiune.

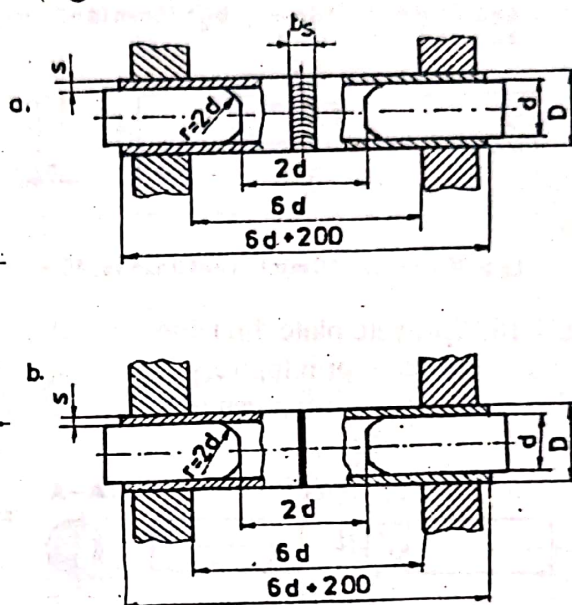


Fig. 7.23. Epruvete tronson-tubulare din țevi cu $D \leq 51\text{ mm}$: a-sudare prin topire; b-sudare prin presiune.

Axa longitudinală a cusăturii sudate trebuie să fie dispusă în planul transversal de simetrie al epruvetei.

Încercarea epruvetelor prelevate din produse cu grosimea până la 30 mm se face, fie cu cusătura sudată prelucrată la grosimea produsului, fie cu cusătura sudată neprelucrată, în care caz, grosimea cusăturii sudate se consideră egală cu grosimea celui mai subțire element din îmbinare.

Pentru calculul rezistenței la rupere R_m , se înregistrează forța maximă F_{max} , atinsă în timpul încercării și se raportează la aria secțiunii minime inițiale a epruvetei în secțiunea calibrată S_0 .

Buletinul de încercare va cuprinde:

- ◆ indicativul sau marcajul epruvetei;
- ◆ marca metalului sudat;
- ◆ marca electrozilor sau marca cuplului sârmă-flux utilizat;
- ◆ procedeul de sudare;
- ◆ forma cusăturii sudate;
- ◆ tratamentul termic aplicat;
- ◆ dimensiunile epruvetei;
- ◆ starea cusăturii (prelucrată sau neprelucrată);
- ◆ eventualele defecte de sudură identificate;
- ◆ rezistența la rupere;
- ◆ poziția rupturii (în cusătură sau în materialul de bază).

7.3.2. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate de colț

Încercarea la tracțiune se face pe epruvete obținute din probele tăiate din îmbinarea sudată din piese apendice sau din probe executate separat pentru încercări (STAS 5976/1-85).

Probe executate separat pentru încercări trebuie să îndeplinească aceleași condiții de execuție a sudurii (calitatea metalului de bază, metalul de adaos, regimul de sudare, etc.) cu cele aplicate la executarea construcției sudate pentru care se fac încercările.

În lipsa unor prescripții, sudurile se execută în poziție orizontală, în jgheab.

Încercarea la tracțiune a îmbinării sudate de colț se execută pe epruvete special confecționate în acest scop:

- pe epruvete plate cu eclise și suduri frontale (fig.7.24);
- pe epruvete în cruce (fig.7.25).

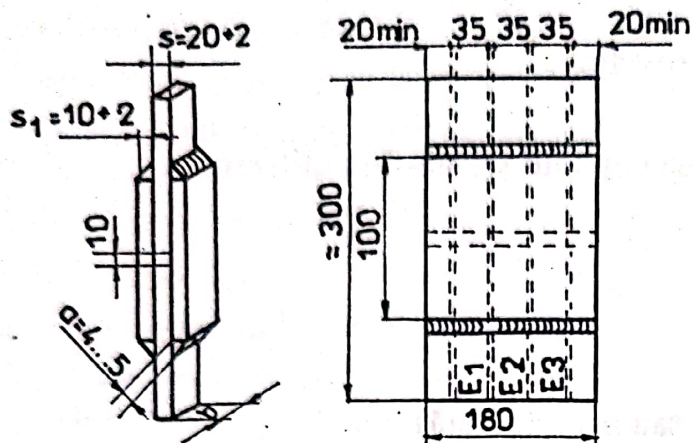


Fig. 7.24. Epruvete plate cu eclise și suduri frontale.

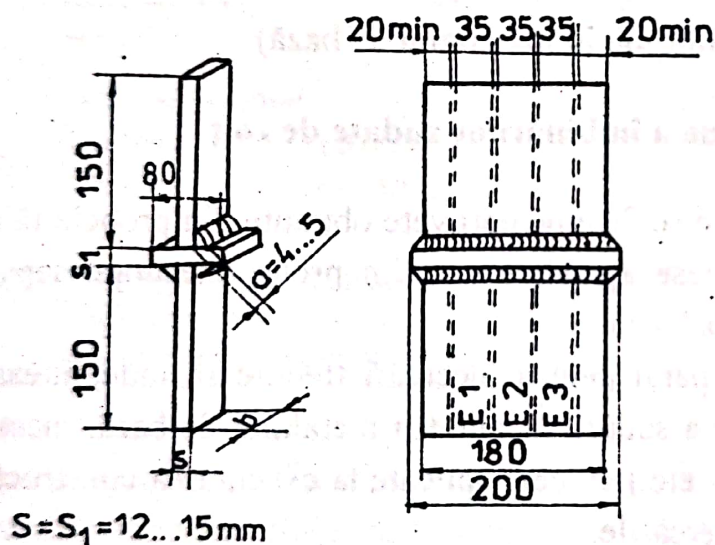


Fig. 7.25. Epruvete în cruce.

Dacă îmbinările sudate care urmează să fie încercate au fost examinate prealabil cu metode nedistructive, epruvetele pentru încercări se iau din porțiunile în care s-au identificat defectele admisibile cele mai pronunțate.

În urma încercării la tracțiune, se calculează rezistența la rupere cu relația:

$$R_m = F_{\max} / S_0 \quad (7.3)$$

unde:

- S_0 este aria secțiunii cusăturilor rupte, în mm^2 ;

$$S_0 = \sum_{i=1}^2 a_i \cdot b \quad (7.4)$$

- R_m este rezistența la rupere la tracțiune, în N/mm^2 ;
- $F_{\max}$ este sarcina maximă suportată de epruvetă, în N;
- a_i este grosimea medie a sudurilor rupte, determinată ca medie aritmetică a trei măsurători efectuate cu șublerul, cu o precizie de 0,1 mm de-a lungul cusăturii, pe înălțimea triunghiului isoscel înscris în secțiunea transversală a sudurii, în mm;
- b este lungimea sudurilor rupte, în mm.

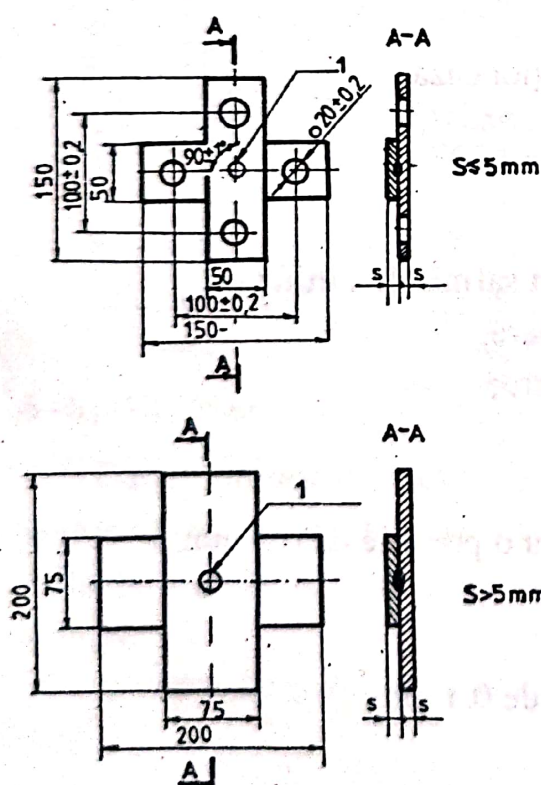
În buletinul de încercare se menționează:

- ◆ indicativul probei;
- ◆ marca metalului;
- ◆ marca electrozilor sau marca cuplului sârmă-flux utilizat;
- ◆ diametrul sârmei sau a sârmei de sudare;
- ◆ procedeul de sudare și regimul de lucru;
- ◆ poziția cusăturii în spațiu;
- ◆ forma cusăturii;
- ◆ grosimea medie a fiecărei cusături, cu o precizie de 0,1 mm;
- ◆ felul tratamentului (dacă există);
- ◆ tipul epruvetelor;
- ◆ dimensiunile epruvetei cu o precizie de 0,1 mm;

- ♦ rezistența la rupere, cu o precizie de 5 N/mm^2 , pentru fiecare epruvetă și media aritmetică;
- ♦ poziția rupturii (în cusătură, în zona influențată termic, în materialul de bază);
- ♦ aspectul cusăturii (fragilă, tenace.);
- ♦ defecte de sudare identificate.

7.3.3. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate în puncte și în relief ale metalelor

Încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate electric prin presiune, în puncte și în relief ale tablelor se execută pe epruvete în cruce și în U, (STAS 7932/2-90). Tablele de îmbinat au grosimi s mai mari de $0,5 \text{ mm}$, iar diametrul nucleului punctului sudat nu depășește $5\sqrt{s}$.



Încercarea constă în aplicarea unei sarcini de tracțiune pe o direcție perpendiculară pe suprafețele tablelor îmbinate până la rupere.

Forma și dimensiunile epruvetelor în cruce pentru table sunt arătate în figura 7.26.

Fig. 7.26. Epruvete în cruce pentru încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate în puncte:
1- punct sudat.

Forma și dimensiunile epruvetelor în U sunt arătate în figura 7.27.

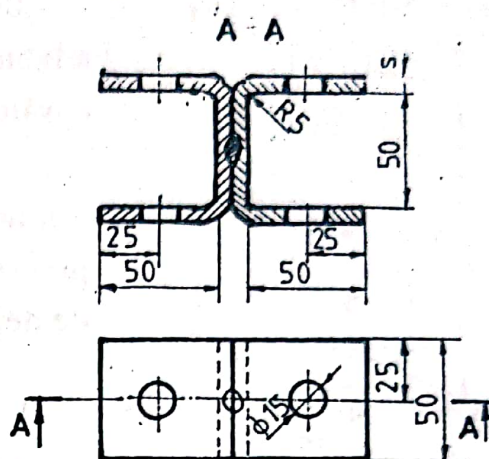


Fig. 7.27. Epruvete în U pentru încercarea la tracțiune a îmbinărilor sudate în puncte.

Prinderea epruvetelor în fălcile mașinii de încercat se face cu dispozitive adecvate.

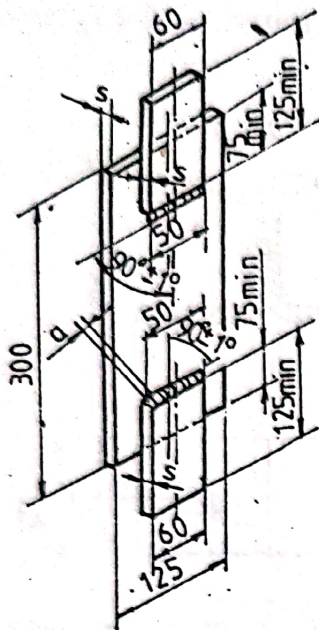
Se înregistrează forța maximă atinsă în timpul încercării, se măsoară diametrul punctului sudat după încercare și se examinează aspectul ruperii.

În buletinul de încercare se indică:

- ◆ marca și starea metalului;
- ◆ procedeul de sudare;
- ◆ parametrii procesului de sudare;
- ◆ rezultatele încercării;
- ◆ aspectul ruperii.

7.3.4. Încercarea la tracțiune a îmbinărilor din table subțiri sudate în colț

Pentru executarea încercării se realizează epruvete din table subțiri, cu grosimea sub 3 mm, cu cusături sudate de colț continue (STAS 10888-85), figura 7.28.



Cusătura obținută trebuie să fie uniformă, având grosimea cuprinsă între $0,7s$ și $1,0s$, în care s reprezintă grosimea nominală a tablei de cea mai mică grosime. Lungimea l a cusăturii va fi de 50 mm.

Grosimea cusăturii este media aritmetică a trei măsurători realizate cu o precizie de 0,2 mm, în plan normal pe direcția de depunere.

Fig. 7.28. Epruvete pentru încercarea la tracțiune.

Încercarea se execută prin încărcarea axială și continuă a epruvetelor până la rupere.

Rezistența la tracțiune R_m a sudurii se determină cu relația:

$$R_m = F_{\max} / a_m \cdot l \quad (7.5)$$

în care:

- $F_{\max}$ este sarcina maximă suportată de epruvetă, în N;
- a_m este grosimea medie a cusăturii rupte, în mm;
- l este lungimea cusăturii.

Mențiuni în **buletinul de încercare**:

- ◆ marca metalului sudat;
- ◆ grosimea tablelor;
- ◆ caracteristicile metalului depus;
- ◆ metoda, regimul și poziția de sudare;

- ◆ dimensiunile cusăturilor;
- ◆ aspectul cusăturii.

7.3.5. Încercarea la încovoiere prin șoc a îmbinărilor sudate cap la cap

Încercarea la încovoiere prin șoc a îmbinărilor sudate cap la cap permite aprecierea tenacității și sensibilității la îmbătrânire a îmbinărilor sudate (STAS 5540/4-86).

Epruvetele pentru aprecierea tenacității sudurii se iau din probele luate din construcția sudată sau din probele martor sau probe speciale.

În funcție de grosimea produselor se utilizează epruvetele arătate în figura 7.29.

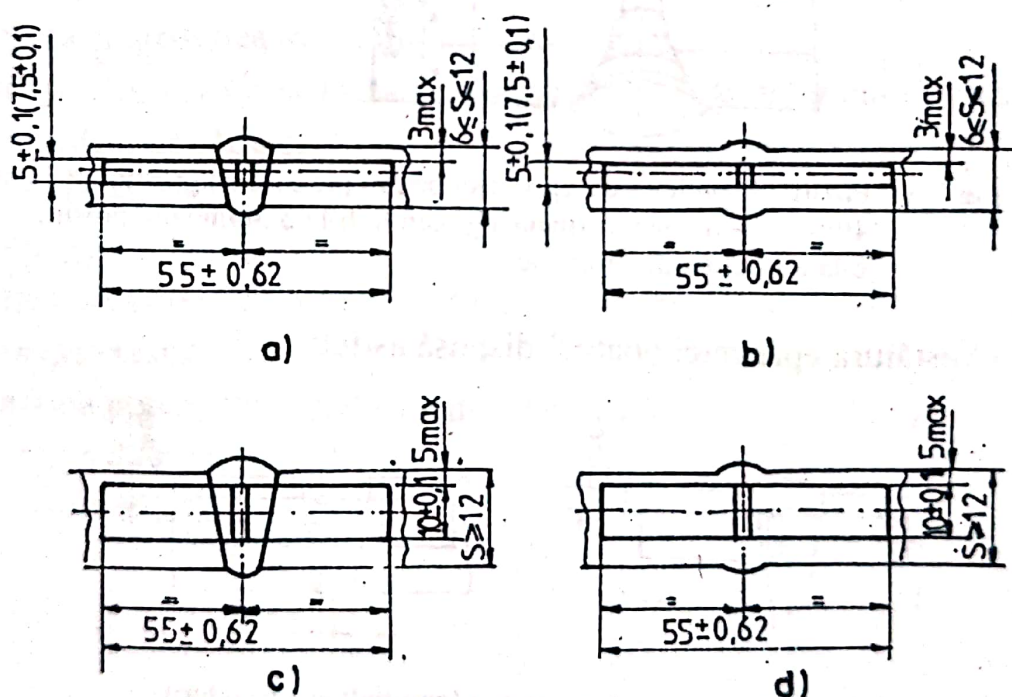


Fig. 7.29. Epruvete prelevate din produse cu grosimi diferite.

În cazul produselor cu grosimi ce depășesc 40 mm, epruvetele se

prelevează în diverse secțiuni pe grosime (fig.7.30).

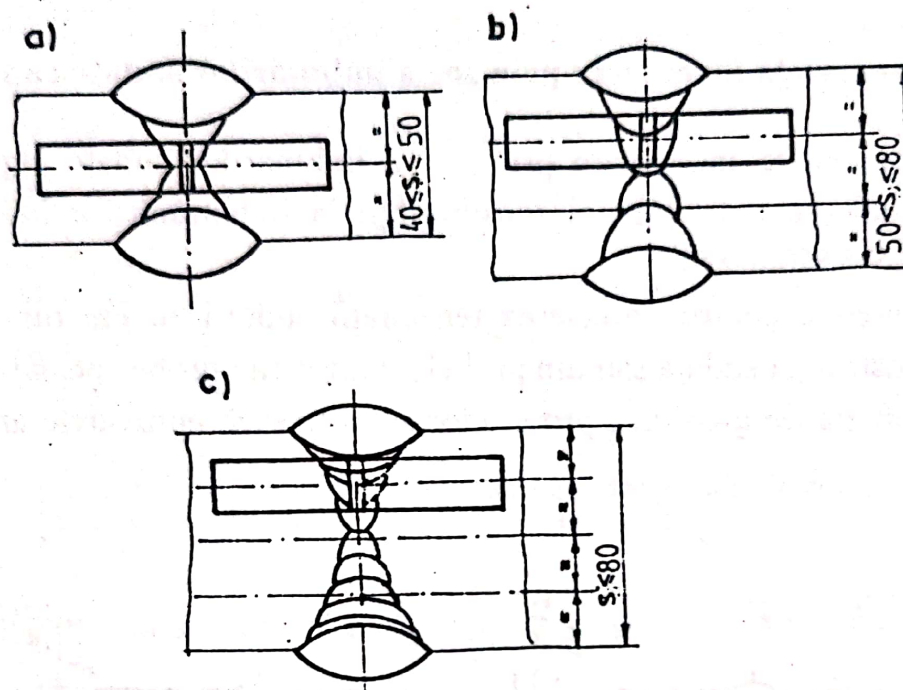


Fig. 7.30. Poziția de prelevare a epruvetei pentru produse cu grosimi mai mari de 40 mm: a-în zona mediană a grosimii; b-la o treime din grosime; c-la o pătrime din grosime.

Crestătura epruvetei poate fi dispusă astfel:

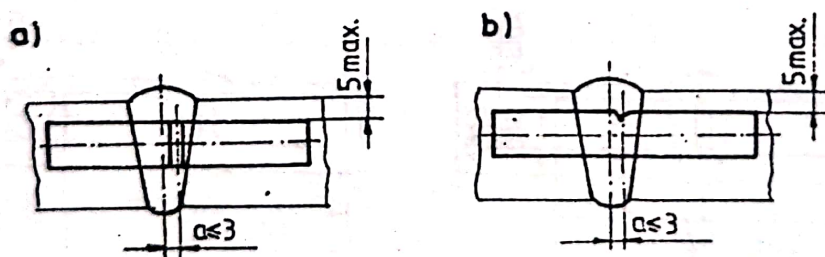


Fig. 7.31. Dispunerea creștăturii pe axa longitudinală a sudurii.

- pe axa transversală a sudurii (fig.7.31, a);
- pe axa longitudinală a sudurii (fig. 7.31, b).

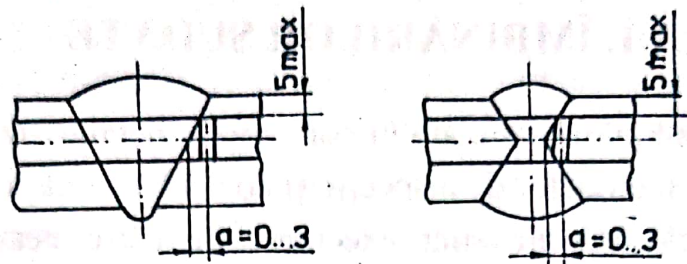


Fig. 7.32. Dispunerea creștăturii paralel cu axele sudurii.

- paralel cu axa transversală a sudurii (fig. 7.32, a);
- paralel cu axa longitudinală a sudurii (fig. 7.32, b).

În buletinul de încercare se vor menționa:

- ◆ marca și grosimea metalului de bază;
- ◆ marca electrozilor sau a sârmei de sudare și marca fluxului utilizat.
- ◆ procedeul de sudare;
- ◆ forma sudurii;
- ◆ tipul epruvetelor;
- ◆ orientarea creștăturii (longitudinal sau transversal);
- ◆ poziția creștăturii;
- ◆ energia potențială inițială a ciocanului pendul, [J];
- ◆ energia de rupere, [J];
- ◆ aspectul rupturii.

7.4. CONTROLUL ÎMBINĂRILOR SUDATE

Folosirea îmbinărilor sudate în construcții metalice nu ar fi posibilă fără perfecționarea metodelor de inspecție și control a calității.

Cu toate că sudurile sunt executate de către personal calificat, calitatea piesele de sudat și a electrozilor sunt verificate, totuși, garanția calității cusăturilor realizate este asigurată prin controlul final, cu metode performante.

Controlul calității sudurilor garantează că defectele depistate nu depășesc valorile limită a clasei de calitate considerate.

7.4.1. Examinarea îmbinărilor sudate prin topire cu ultrasunete

Examinarea cu ultrasunete are ca scop evidențierea discontinuităților din zona îmbinării sudate a cărei lățime cuprinde lățimea materialului depus și lățimea zonei învecinate, de o parte și de alta a îmbinării (de cca. $1/3$ din grosimea examinată).

Rezultatul controlului este imediat și sigur. Se identifică cu precizie locul, mărimea și adâncimea defectului. Datorită sensibilității ridicate a metodei, pot fi detectate defecte de dimensiuni mici (sub 1mm), respectiv fisuri fine, care nu pot fi evidențiate radiografic.

7.4.1.1. Principiul metodei de control cu ultrasunete

Potrivit STAS 9552-87, evidențierea discontinuităților se face prin metoda în impuls reflectat în prezentarea A, prin contact direct al palpatorului cu suprafața piesei examinate. Reprezentarea A constă în reproducerea adâncimii de penetrare sau a distanței parcurse de unde. Sunt

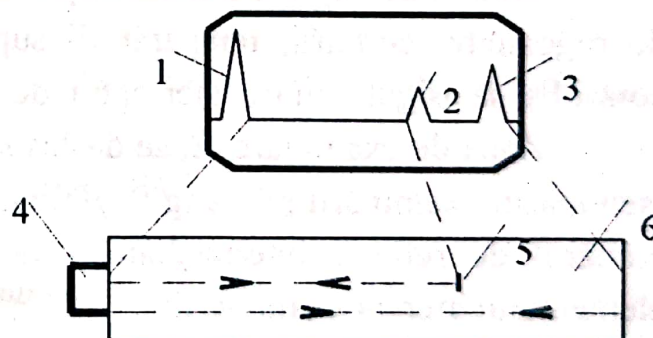
redate, pe orizontală, timpul (distanța), iar pe verticală, amplitudinea semnalului emis, respectiv recepționat.

Principiul metodei de control cu ultrasunete cu impulsuri reflectate constă în generarea unor *impulsuri ultrasonice scurte* (trenuri de unde), introducerea lor în piesa de controlat prin intermediul *palpatorului* și urmărirea timpului de propagare a undelor și amplitudinii impulsurilor reflectate de orice suprafață separatoare de medii. Impulsurile ultrasonice generate și reflectate sunt afișate pe ecranul unui tub catodic, la o distanță pe axa orizontală proporțională cu distanța parcursă de fascicul până la discontinuitatea la care se reflectă parțial sau total.

Defectoscopul ultrasonic cu impulsuri reflectate utilizat pentru control funcționează astfel:

- Generatorul de înaltă frecvență produce impulsuri electrice de înaltă frecvență, care sunt transformate de piezocristalul palpatorului în impulsuri ultrasonice și introduse în piesa de controlat.
- După parcurgerea piesei, impulsurile ultrasonice se reflectă și se întorc la palpator (fig.7.33).

Fig.7.33. Corespondența dintre parcursul undelor în piesă și imaginea de pe ecranul aparatului: 1-impuls emisie; 2-ecou defect; 3-ecou fund; 4-palpator; 5-defect; 6-piesa de controlat.



Datorită emisiei discontinue a generatorului de înaltă frecvență și a scăderii bruște a tensiunii, palpatorul recepționează impulsurile reflectate (impulsuri ecou), transformându-le în trenuri de oscilații electrice.

Amplitudinea acestora depind de mărimea discontinuității,

orientarea suprafeței de separație față de direcția fasciculului, calitatea suprafeței de reflexie, distanța acesteia, pierderile în structura materialului controlat.

Poziția defectului se citește pe o scară gradată pe ecranul osciloscopului.

7.4.1.2. Tehnica de control cu ultrasunete

În vederea efectuării controlului, suprafața de contact dintre palpator și metalul de bază trebuie să asigure un cuplaj corespunzător, care se menține pe parcursul examinării.

Neuniformitățile de suprafață cu înălțimea mai mare de 1/10 din lungimea de undă, precum și straturi subțiri neaderente de oxizi, vopsea, murdărie, etc. se îndepărtează prin procedee mecanice sau chimice.

Starea de suprafață a îmbinării sudate trebuie să nu influențeze examinarea. Rugozitatea suprafețelor prelucrate ale cusăturilor de sudură va fi R_a 12,5 μ m.

Mediul de cuplare trebuie să prezinte o vâscozitate adecvată gradului de rugozitate, curburii, temperaturii suprafeței de examinare, poziției de control și să asigure un transfer optim de energie acustică.

Zona de examinare, Z_e se desfășoară între doi semipași ai examinării (semipasul examinării $p/2 = s \cdot \tan \beta$, β fiind unghiul de pătrundere), funcție de numărul de reflexii intermediare a fasciculului ultrasonic, n și grosimea elementului aferent examinării:

$$Z_e = n \cdot p/2 - (n+1)p/2 \quad (7.6)$$

Zona de palpate, Z_p este zona de deplasare a traductorului pe suprafața de examinare:

$$Z_p = Z_e + l_z \quad (7.7)$$

Delimitarea zonei de palpate de suprafața de examinare se face conform figurii 7.34.

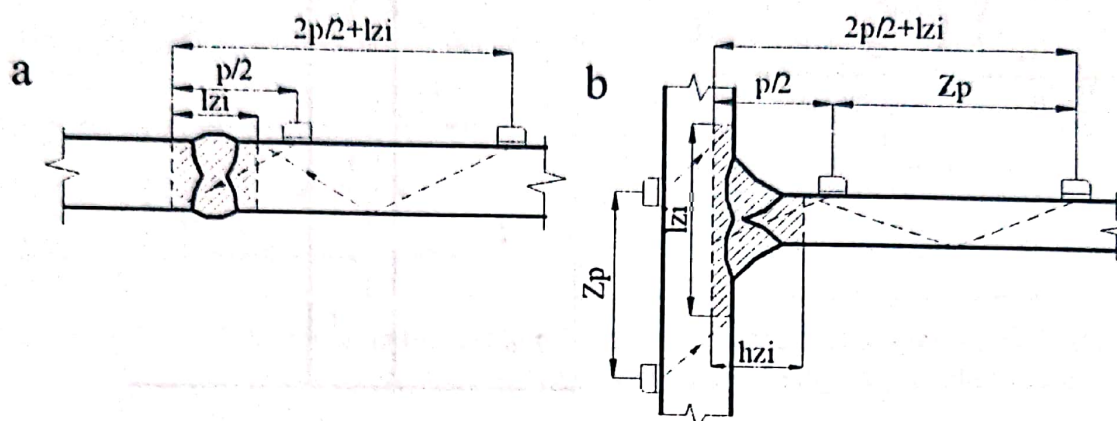


Fig. 7.34. Delimitarea zonei de palpate: a-suduri cap la cap; b-suduri de colț;
 l_{zi} - lățimea zonei îmbinării; h_{zi} -înălțimea zonei îmbinării;
 Z_p -zona de palpate.

1°. Controlul îmbinărilor sudate cap la cap

Tehnicile de investigare și numărul direcțiilor de investigare (1....6) sunt definite prin clasele de examinare a îmbinărilor sudate (A,B,C).

Direcțiile de investigare sunt arătate în figura 7.35.

Pentru examinarea îmbinărilor sudate se utilizează următoarele tehnici de investigare:

- tehnica de examinare cu incidență normală;
- tehnica de examinare cu incidență înclinată;
- tehnica de examinare în sistem tandem.

Aceste tehnici se aplică individual sau în diferite combinații, funcție de geometria îmbinării sudate, conform clasei de examinare prescrisă în standardul de produs, de condițiile de prelucrare a îmbinării sudate și accesibilitatea la elementele îmbinării.

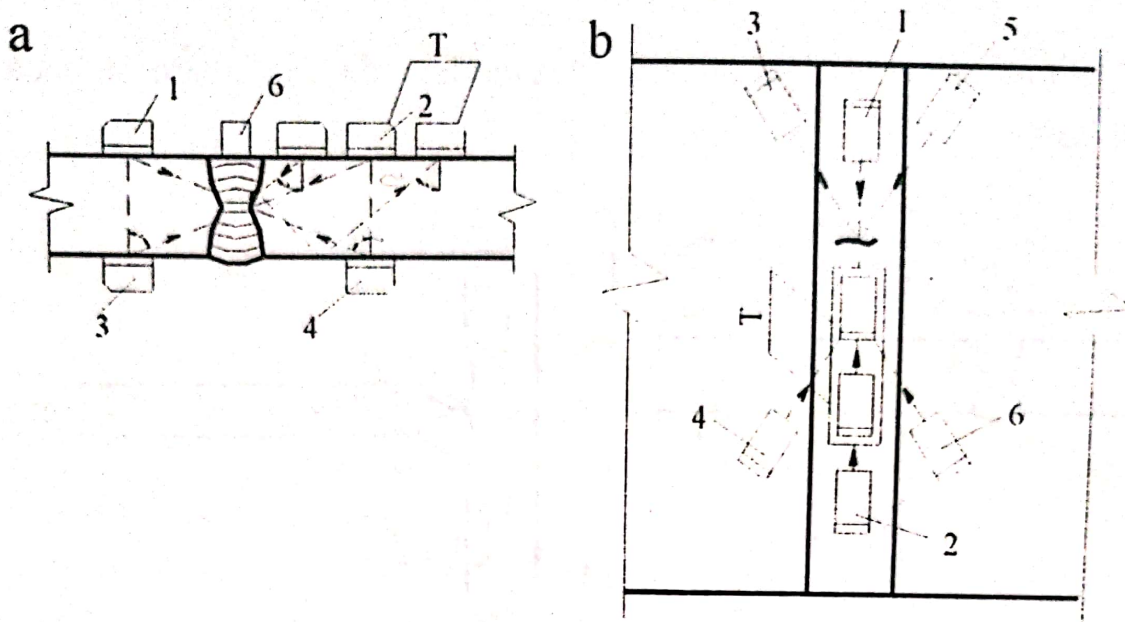


Fig.7.35. Direcții de investigare pentru sudurile cap la cap: a-pe grosimea cusăturii; b-în lungul cusăturii; T-tehnică de investigare în sistem tandem.

i) Detectarea defectelor longitudinale

Evidențierea discontinuităților longitudinale din îmbinarea sudată se face printr-o investigare completă a secțiunii transversale a zonei îmbinării, pe toată lungimea ei.

Investigarea secțiunii se face prin deplasarea traductorului în limitele zonei de palpăre, fie perpendicular pe axa îmbinării, *examinare dreptunghiulară* (fig. 7.36,a), fie ușor înclinat, *examinare în zig-zag* (fig.7.36,b).

Pasul de înaintare în direcția axei îmbinării sudate d , trebuie să fie mai mic decât lățimea activă a traductorului.

Mișcarea traductorului de apropiere și depărtare față de îmbinarea sudată se face simultan cu mișcarea de rotație a acestuia în jurul axei (fig.7.36, c), cu unghiul $\pm 10^\circ$ și o frecvență de 5..10 oscilații pe semipasul de examinare.

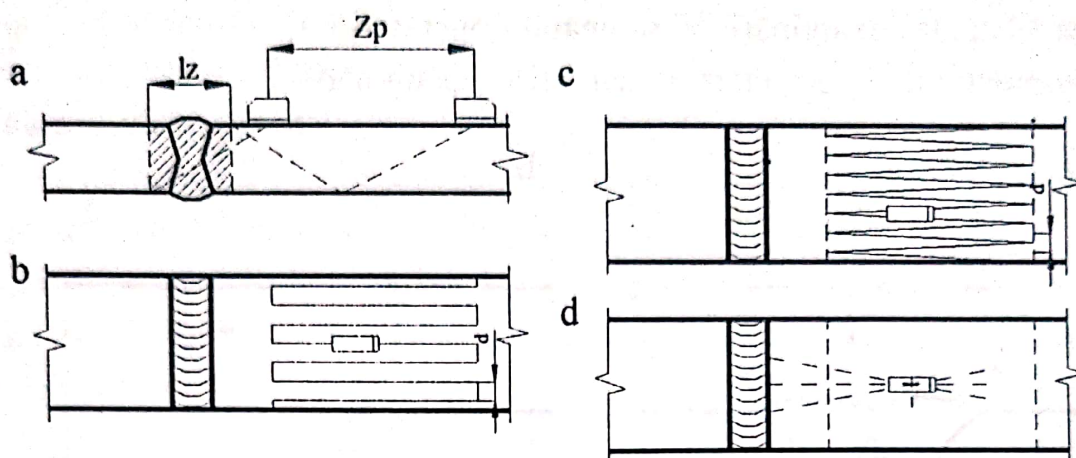


Fig. 7.36. Deplasarea traductorului pentru evidențierea defectelor longitudinale: a-examinare dreptunghiulară; b-examinare în zig-zag, c-examinare rotațională.

ii) Detectarea defectelor transversale

Defectele transversale se detectează cu fascicul de unde orientat în lungul cusăturii. Evidențierea defectelor transversale din cusătura de sudură se face prin investigarea completă a secțiunii transversale a zonei îmbinării, pe întreaga lungime.

2°. Controlul îmbinărilor de colț

Metoda de control ultrasonic a îmbinărilor de colț oferă rezultate certe numai pentru suduri complet pătrunse.

Direcțiile de investigare prevăzute de clasa de examinare sunt cuprinse în figura 7.37.

În **buletinul de încercare** se indică cel puțin următoarele date referitoare la:

- ◆ identificarea produsului și a îmbinării sudate;
- ◆ aparatura și accesoriile utilizate;
- ◆ parametrii de examinare;
- ◆ rezultatele examinării;
- ◆ faza de execuție,

- ◆ data efectuării examinării și semnătura operatorului;
- ◆ documentul de interpretare a rezultatelor examinării.

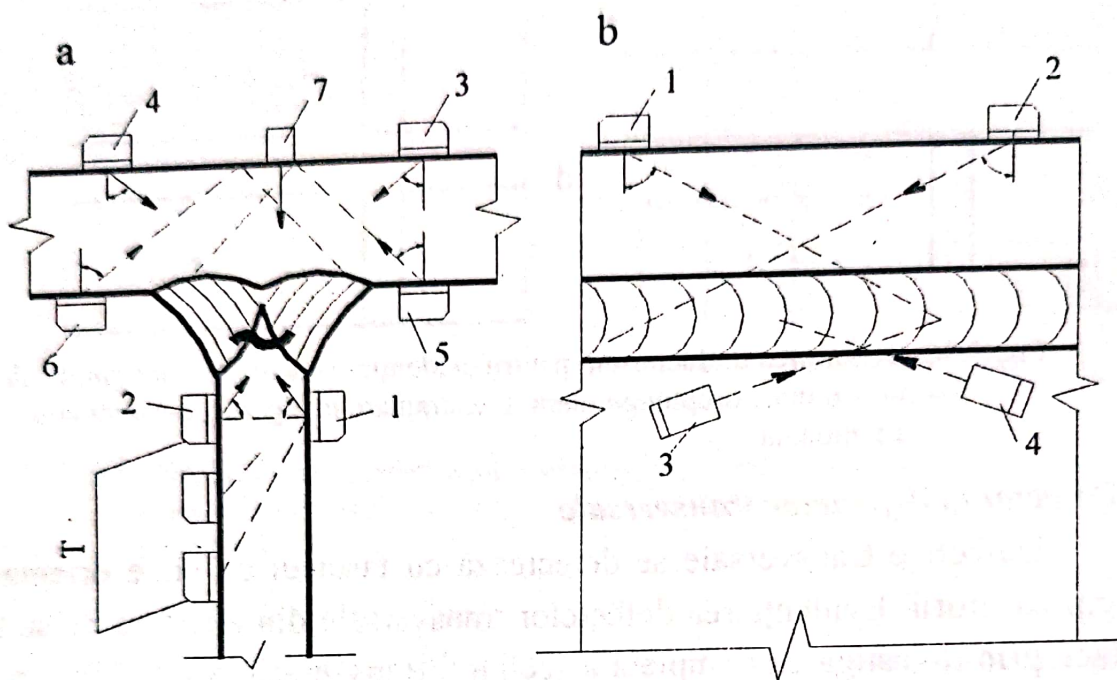


Fig.7.37. Direcții de investigare a îmbinărilor sudate de colț: a-pe secțiunea transversală; b- în lungul cusăturii; T-tehnică de examinare în sistem tandem.

7.4.2. Controlul cu radiații penetrante a îmbinărilor sudate prin topire

Controlul cu radiații penetrante pune în evidență aproape toate tipurile de defecte ale îmbinărilor sudate: suflura, incluziunea, lipsa de topire, lipsa de pătrundere, fisura, excesul de pătrundere, suprafața neregulată, creștătura marginală, retasura, subțierea, lățimea neregulată și reluarea defectuoasă.

Controlul cu raze X este superior controlului cu raze γ din punct de vedere calitativ, în special pentru grosimi mici și mijlocii ale pieselor de încercat.

Cele două metode prezintă pericol de iradiere, în general mai mare în cazul surselor γ . Ca urmare, activitatea de control cu radiații penetrante se poate desfășura numai cu autorizații speciale.

Radiațiile X și γ sunt radiații de natură electromagnetică cu caracter corpuscular și ondulatoriu. Se deosebesc prin faptul că la producerea radiațiilor X tranziția se face între două stări cuantice ale învelișului electronic, iar în cazul radiațiilor γ , între două stări cuantice ale nucleului atomului.

7.4.2.1. Principiul metodei de radiografiere

După natura sursei de iradiere, instalațiile de radiografie pot fi instalații röntgen și gama-defectoscoape.

Utilizarea tehnicii radiografice implică satisfacerea unor condiții prealabile de pregătire a piesei, a zonei de examinare, de poziționare și de amplasare a filmului.

Suprafața examinată se curăță înainte de radiografiere, îndepărtând stropii de sudură, zgura și straturile de protecție.

Localizarea sudurii pe radiografie este evidențiată prin îngroșarea acesteia. Dacă îngroșarea sudurii se prelucrează înaintea radiografierii sau dacă este prea redusă, pentru localizarea ei pe radiografie se utilizează repere de plumb (STAS 6606/-86), sub formă de săgeată, așezate de-a lungul sudurii, de ambele părți ale acesteia.

Pentru identificarea radiografiilor se folosesc simboluri din plumb (litere, cifre), sub formă de metru radiografic, care se așază pe piesă la fiecare capăt al filmului, astfel încât imaginea lor pe radiografie să permită identificarea fără echivoc a zonei din îmbinarea sudată examinată.

În vederea identificării poziției controlate din piesă, zona de reper de pe suprafața examinată se marchează prin poansonare, vopsire, etc., iar

filmul se marchează printr-un simbol de cifre sau litere de plumb, așezate înainte de radiografiere pe piesă.

Amplasarea sursei de iradire se face la distanță determinată, astfel încât grosimea străbătută să fie minimă și pe cât posibil constantă (fig.7.38).

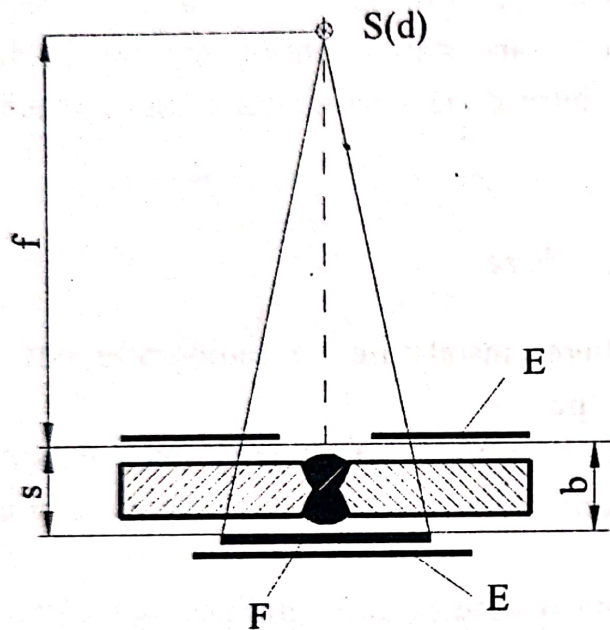


Fig.7.38. Principiul metodei de control radiografic: S-sursa de radiații cu dimensiunea efectivă d ; F-film; E-ecran de protecție; f -distanța sursă-piesă; s -grosimea penetrantă a piesei; b -distanța dintre suprafața dinspre sursă a porțiunii examinate a piesei și film.

Grosimea penetrantă a piesei s este grosimea totală a materialului străbătut de radiații, măsurată pe direcția axei fascicului de radiații. La piese cu diferențe de grosime se utilizează piese de compensare, astfel ca grosimea metalului iradiat să fie egală cu grosimea maximă a sudurii.

Filmul se poziționează pe partea posterioară a piesei de examinat, considerată dinspre sursă, pe cât posibil în contact cu suprafața posterioară a piesei, pentru a asigura claritatea și contrastul maxim posibil.

Direcția și sensul iradierii se stabilește ținând seama de principiul minimizării spațiului străbătut și al unei protecții posterioare asigurată de ecrane capabile să atenueze în totalitate fasciculul de radiații.

Îmbinarea sudată cap la cap a pieselor plane se radiografiază în

general în planul de simetrie longitudinală a îmbinării. În cazul îmbinărilor în V, U, Y, dispunerea sursei pe partea rădăcinii are ca efect o identificare mai ușoară a defectelor de topire la suprafața rostului, datorită apropierii acestora de direcția de iradiere. Asemănător se procedează la examinarea îmbinărilor longitudinale ale țevilor și virolelor.

Rezultatul radiografiei cu radiații penetrante sunt radiografiile. Acestea sunt examinate cu negatoscopul sau cu microdensitometrul cu baleiaj.

Examinarea radiografică cuprinde:

- decelarea defectelor și identificarea tipului de defect;
- stabilirea dimensiunilor și frecvenței defectelor;
- localizarea acestora;
- determinarea diametrului firului, orificiului, respectiv a treptei minim vizibile ale indicatorului de calitate a imaginii;
- încadrarea în clasa de calitate sau clasă de execuție a îmbinării sudate examinate.

Criteriile de calitate-admisibilitate a defectelor la îmbinările sudate cap la cap prin topire sunt riguros condiționate chiar de metoda și volumul de control aplicat:

- grupe de încadrare a defectelor în funcție de mărimea și gravitatea lor, pe baza unor radiografii etalon (grupe de culori);
- clase de calitate a îmbinărilor, determinate binar prin asocierea gravității după mărimea și după frecvența defectelor;
- sistem rezolutiv admis sau respins în baza unor condiții de mărime, densitate liniară, distanță minimă între defecte succesive, corelate cu grosimea îmbinării.

Criteriul de admisibilitate a defectelor după radiografii etalon, elaborat de Institutul Internațional de Sudură are la bază radiografii etalon,

din care rezultă mărimea și densitatea maximă a defectelor dintr-o grupă pe o lungime de referință de 200 mm.

Clasele de calitate sunt definite în funcție de:

- ▶ gradul de defect, prin asocierea câmpurilor de defecte, gradate după mărime (prima cifră) și după frecvență (a doua cifră);
- ▶ valori limită ale mărimii și densității liniare (frecvență) a defectului raportate la grosime (pentru dimensiuni maxime), respectiv la o lungime de referință (pentru frecvențe sau lungimi cumulate).

Criteriul rezolutiv de admisibilitate a defectelor se aplică pentru recipiente sub presiune; defectele cusăturilor sudate admise condiționat sunt suflurile, incluziunile și retasura.

7.4.3. Controlul îmbinărilor sudate cu lichide penetrante

Controlul defectoscopic nedistructiv cu lichide penetrante se bazează pe proprietatea unor lichide de a umecta suprafețele corpurilor solide și de a pătrunde în cavitățile acestor suprafețe. Întrucât pătrunderea lichidelor în interiorul defectelor are loc prin capilaritate, metodele de control cu lichide penetrante sunt denumite și metode capilare.

Controlul cu lichide penetrante este destinat evidențierii defectelor de suprafață dar și a celor de profunzime deschise. Se poate aplica practic la orice material, formă și dimensiuni de piesă în condiții de hală sau șantier, pe suprafețe uscate, la temperaturi de 15-50°C. Rezultatele sunt concludente, imediate și foarte ușor de interpretat.

Cu această metodă pot fi detectate trei categorii de defecte:

- defecte ale materialelor obținute prin turnare, laminare, forjare, extrudare, tragere (ex: pori la suprafață, sufluri deschise, crăpături la cald sau la rece, stratificări, etc.);

7. ÎNCERCĂRI ALE ÎMBINĂRILOR SUDATE

- defecte ale elementelor de construcții rezultate în procesul de execuție a acestora prin sudare, lipire, presare, aşchiere, tratament termic (ex: fisuri de călire, fisuri de rectificare, pori şi nepătrunderi ale îmbinărilor sudate, etc.);
- defecte ale elementelor de construcții apărute în procesul de exploatare a acestora (ex: fisuri la oboseală, crăpături, ruperi, etc.).

Sensibilitatea controlului cu lichide penetrante este foarte mare, permițând detectarea unor fisuri deschise de suprafață cu lățimea minimă de 0,001 mm, adâncimea minimă de 0,01 mm și lungime minimă de 0,1 mm.

Controlul cu lichide penetrante al îmbinărilor sudate se realizează pe zone de minim 20-30 mm de o parte și de alta în lungul sudurii, ceea ce reprezintă avantajul de a evidenția și eventualele fisuri propagate în materialul de bază.

Un domeniu larg de aplicare a controlului cu lichide penetrante îl constituie examinarea elementelor de construcții solicitate la încărcări variabile aflate în exploatare, în cadrul verificărilor periodice. Deasemenea, controlul cu lichide penetrante poate fi aplicat cu rezultate bune la determinarea etanșietății rezervoarelor.

7.4.3.1. Principiul metodei de control

Controlul cu lichide penetrante constă în aplicarea pe suprafața supusă controlului a unui lichid cu bune calități de penetrare în discontinuitățile superficiale și evidențierea acestora prin contrast cu ajutorul unui dezvoltant. Penetrarea în discontinuitățile cele mai fine - pori, fisuri, etc. - se produce datorită efectului de capilaritate. Developarea penetrantului are loc datorită efectului de absorbție a dezvoltantului.

Se disting trei metode de control cu lichide penetrante, diferențiate în funcție de tipul penetratorului și de modul de examinare:

- ▶ **metoda colorării** la care penetrantul este un lichid colorant (de obicei roșu), iar examinarea se face în lumină albă, obișnuită. Indicațiile de defect apar ca pete de culoare roșie pe fondul alb al developantului;
- ▶ **metoda fluorescenței** la care penetrantul este un lichid fluorescent, iar examinarea se face în lumină ultravioletă, într-o cameră întunecată. Indicațiile de defect apar ca pete luminoase (de obicei galben-verzui) pe fondul închis al developantului (în mod obișnuit de culoare indigo);
- ▶ **metoda mixtă** (colorării-fluorescenței) obținută prin combinarea metodelor precedente, penetratorul fiind un lichid colorat (roșu) și fluorescent. Examinarea se poate face în lumină obișnuită, indicația de defect fiind similară celei de la metoda colorării, dar și în lumină ultravioletă, indicația de defect apărând ca o pată strălucitoare în culoarea roșu-portocaliu.

Dintre cele trei metode, în practică se aplică, pe scară largă, primele două, cu tendința de extindere a celei de a doua, justificată prin sensibilitatea ei ridicată.

7.4.3.2. Caracteristicile materialelor utilizate

- **Lichidele penetrante** se clasifică după următoarele criterii (STAS 10214-84):
 - **după contrast:**
 - penetranți fluorescenți (A);
 - penetranți colorați (B);
 - penetranți coloranți- fluorescenți (C).

- **după solubilitate:**

- penetranți solubili în apă (1), conținând în compoziție agenți emulgatori;
- penetranți cu postemulsione (2), ce se pot îndepărta prin spălare cu apă numai după aplicarea unui agent emulgator care poate fi hidrofil pe bază de apă (a) sau lipofil pe bază de ulei (b);
- penetranți solubili în solvenți organici (3) sub formă lichidă (a) sau vapori (b).

Penetranții au în compoziția lor unul sau mai multe lichide, cu putere mare de pătrundere în defectele de suprafață (ulei de transformator, ulei de aviație, petrol lampant, terebentină, benzen, acetonă, antracen, benzină, etc.) cărora li se adaugă un colorant puternic (de obicei roșu) sau o substanță fluorescentă. În compoziția penetranților mai pot intra agenți emulgatori, inhibitori de coroziune, etc.

➤ **Developanții** se clasifică astfel:

- **developanți pulbere:**

- în stare umedă (D_1), sub formă de suspensie în solvent (a) sau suspensie/soluție în apă (b);
- în stare uscată (D_2).

- **developanții** sub formă de peliculă polimerică (D_3).

Dintre substanțele pulverulente caracterizate prin capacitate mare de absorbție a lichidelor, în practică se folosesc mai des următoarele: talcul și oxidul de magneziu care au culoarea albă cea mai intensă, creta, caolinul, diatomitul, silicagelul, etc.

➤ **Substanțele de spălare** destinate îndepărtării excesului de penetrant de pe suprafața controlată trebuie să acționeze repede în vederea spălării cât

mai bine a suprafeței, fără a scoate însă și penetrantul din cavitățile defectelor.

Natura substanțelor de spălare depinde de tipul penetranților folosiți: solubili în apă, solubili în solvenți organici, cu postemulsionare.

7.4.3.3. Tehnologia controlului cu lichide penetrante

Controlul cu lichide penetrante cuprinde mai multe etape:

- pregătirea suprafeței supusă controlului;
- aplicarea penetrantului pe suprafață (penetrarea);
- îndepărtarea excesului de penetrant;
- aplicarea dezvoltantului pe suprafață (developarea);
- examinarea suprafeței;
- aprecierea rezultatelor;
- marcarea pe suprafață a locurilor cu defecte;
- curățirea finală.

1º. Pregătirea suprafeței

Curățirea suprafeței de oxizi, zgură, stropi, uleiuri, acoperiri de protecție și alte impurități, se face prin oricare metodă cu condiția de a nu produce închiderea sau mascarea defectelor și de a nu altera lichidele penetrante.

Curățirea suprafeței se face pe *cale chimică* prin spălare/degresare/decapare cu detergenți, solvenți, baze și acizi aflați în stare lichidă sau gazoasă, sau pe *cale mecanică* prin folosirea periilor de sârmă, a materialelor abrazive sau prin prelucrare.

Curățirea chimică este cea mai indicată, fiind singura care poate elimina impuritățile din discontinuități.

După curățire, suprafața de controlat se spală cu apă, se șterge și se

usucă prin evaporare naturală sau forțată folosind aerul rece sau cald sub presiune, filtrat de impurități.

2°. Aplicarea penetrantului

Penetrantul poate fi aplicat pe suprafața de examinat a elementelor de construcții metalice prin pulverizare, turnare, pensulare sau imersare.

Temperatura suprafeței controlate trebuie să fie cuprinsă între 15-50°C, iar timpul de penetrare între 5 și 30 minute.

O temperatură inferioară celei prescrise produce mărirea vâscozității având ca efect scăderea proprietăților de penetrare în defect, iar o temperatură superioară poate produce volatilizarea unor componente ai penetrantului, reducând sensibilitatea de examinare.

3°. Îndepărtarea excesului de penetrant

Îndepărtarea stratului de penetrant în exces de pe suprafața de controlat se realizează numai după scurgerea timpului de penetrare astfel încât să mai rămână penetrant în cavitățile defectelor. Modalitățile de înlăturare a excesului de penetrant depind de natura acestuia și implicit de natura solvenților folosiți.

Operația de îndepărtare a excesului de penetrant se consideră terminată la dispariția fondului colorat sau fluorescent de pe suprafața de controlat. Această operație este urmată imediat de uscarea suprafeței supusă examinării. Se poate renunța la uscare dacă se utilizează un developant sub formă de suspensie/soluție în apă.

4°. Aplicarea developantului

Depunerea developantului pe suprafața de controlat este condiționată de obținerea unui strat subțire și uniform, fără depozite de pulbere care pot masca indicațiile fine.

Developantul poate fi depus în stare uscată, sub formă de suspensie sau soluție. Timpul de developare se măsoară din momentul uscării

complete a developantului aplicat și poate să varieze între 7 și 30 minute.

5°. Examinarea suprafeței

Examinarea suprafeței trebuie să înceapă din momentul aplicării developantului pentru evitarea indicațiilor neconcludente datorate unei absorbții excesive a penetrantului la suprafața de examinat.

Suprafețele controlate cu penetranți colorați se examinează la lumină naturală sau artificială asigurând o iluminare de cel puțin 500 lx, iar suprafețele controlate cu penetranți fluorescenți, în incinte întunecate sau slab iluminate, având iluminarea de maxim 30 lx.

6°. Aprecierea rezultatelor, marcarea pe suprafață a locurilor cu defecte și curățirea finală

Prezența unei cantități de penetrant pe fondul developantului indică posibilitatea existenței unei discontinuități.

După configurația discontinuităților, indicațiile de defect pot fi:

- indicații liniare (fisuri, suprapuneri, stratificări, lipsă de topire și nepătrunderi ale sudurilor, exfolieri);
- indicații rotunjite (sulfurile de suprafață, pori cu dimensiuni mari).

Pentru stabilirea naturii discontinuității se recomandă îndepărtarea developantului, fixarea imaginii prin aplicarea unor lacuri transparente și examinarea vizuală cu lupa.

Etapa finală a controlului o constituie curățirea suprafețelor de penetrant prin spălare cu apă sau solvenți și uscarea.

7°. Sensibilitatea controlului cu lichide penetrante

Principalii factori care influențează sensibilitatea controlului cu lichide penetrante sunt: calitatea materialelor folosite; starea suprafețelor pregătite pentru control și operațiile anterioare de prelucrare ale acestora; timpii de penetrare, emulsionare, developare; modul de îndepărtare a excesului de penetrant, cantitatea de developant; temperatura de lucru;

modul de iluminare a suprafeței în timpul examinării, calificarea operatorilor.

Pentru a spori sensibilitatea controlului cu lichide penetrante, se pot aplica o serie de metode care asigură o mai bună pătrundere a penetrantului în cavitățile defectelor. Dintre aceste metode fac parte: penetrarea în vid, penetrarea cu încălzirea pieselor controlate și a penetrantului, penetrarea cu vibrație și penetrarea combinată.

BIBLIOGRAFIE

1. ACZEL, O., BOZAN, C.
- *Dislocațiile și frecarea internă la metale*, Timișoara, Editura Facla 1974.
2. AXINTE, EI.
- *Constructions métalliques*, Iași, Editura "Gh. Asachi" 1996.
3. BÎRSAN, C., RADU, R.
- *Controlul nedistructiv al materialelor prin metode radioactive*, București, Editura Tehnică 1975.
4. BROZZETTI, J., SEDLACEK, G., HENSEN, W.
- *Fondements des règles de l'EUROCODE 3 en vue de se garantir du risque de rupture fragile*, Construction métallique nr.1/1991.
5. DALBAN, C., CHESARU, E., DIMA, Ș., ȘERBESCU, C.
- *Construcții cu structură metalică*, București, Editura Didactică și Pedagogică 1997.
6. IVĂȘCAN, Ș., APOSTOLESCU, M., BANDRABUR, F.
- *Protecția anticorozivă a materialelor metalice*, Iași, Institutul Politehnic 1984.
7. MOCANU, D. R.
- *Încercarea materialelor*, București, Editura Tehnică, 1982.
8. MC. GONNAGLE, W.J.
- *Essais non destructifs*, Paris, Editura Eyrolles 1967.
9. NĂDĂȘAN, Ș., ș.a.
- *Încercări și analize de metale*, București, Editura Tehnică 1965.
10. NĂDĂȘAN, Ș., ș.a.
- *Oboseala materialelor*, București, Editura Tehnică 1962.
11. PESCARU, V.
- *Construcții metalice hidrotehnice*, Institutul Politehnic Iași 1993.
12. SAFTA, V.
- *Controlul îmbinărilor și procedeele de sudare*, Timișoara, Editura Facla 1984.
13. SĂLĂGEAN, T.
- *Tehnologia proceselor de sudare cu arc*, București, Editura Tehnică 1985.
14. STEOPOE, AI.
- *Materiale de construcții*, București, Editura Tehnică 1964.
15. STRĂTEANU, P.
- *Contribuții la creșterea durabilității construcțiilor metalice prin măsuri eficiente de prevenire și protecție anticorozivă*,

16. ȘERBESCU, C.,
MÜHLBACHER, R.,
COSMULESCU, P., ȚĂRANU, N.
PESCARU, V., AXINTE, EI.
17. ȘERBESCU, C.
18. ȘERBESCU, C.,
MÜHLBACHER, R.,
AMARIEI, C., PESCARU, V.
19. ȘERBESCU, C., STRĂTEANU, P.
AXINTE, EI.
20. ȚĂRANU, N., AXINTE, EI.
21. VOINA, N. I.
22. ZAMFIR, S., VIDU, R.,
BRÂNZOI, V.
23. EUROCODE 3
24. SR ISO 643 1995
25. STAS 5000 - 73
26. STAS 5500 - 74
27. STAS 5949 - 80
28. STAS 5949/2 - 83
29. STAS 7626 - 78
30. STAS 7930 - 67
31. STAS 10552 - 76
32. STAS 10952/1 - 77
33. STAS 10952/2 - 79
- Teză de doctorat. Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași, 1997
- *Îndrumar pentru lucrări de laborator la disciplinele de Construcții și Poduri metalice*, Institutul Politehnic Iași 1980
- *Construcții metalice*, Institutul Politehnic Iași 1982
- *Probleme speciale în construcții metalice*, București, Editura Tehnică 1984
- *Îmbinări sudate. Îndrumar pentru lucrări de laborator*, Institutul Politehnic Iași 1987
- *Construcții metalice*, Universitatea Tehnică "Gh. Asachi" Iași 1993
- *Materiale de construcții*, București, Editura Tehnică 1974
- *Coroziunea materialelor metalice*, București, Editura Didactică și Pedagogică 1994
- *Calcul des structures en acier*, Paris, C.T.I.C.M. 1990
- *Oțeluri. Determinarea micrografică a mărimii grăuntelui feritic sau austenitic al oțelurilor*
- *Metalografie. Constituenți și structuri. Terminologie*
- *Metalografie. Defecte. Terminologie*
- *Determinarea incluziunilor nemetalice din oțeluri. Metoda microscopică*
- *Determinarea incluziunilor nemetalice din oțeluri. Metode automate*
- *Metalografie. Microstructuri. Scări etalon pentru oțeluri*
- *Metalografie. Metoda de determinare macroscopică a mărimii grăuntelui austenitei după aspectul rupturii*
- *Determinarea conținutului de ferită delta în metalul depus la sudarea oțelurilor austenitice. Metoda microscopică*
- *Sudarea metalelor. Analiza metalografică a îmbinărilor sudate prin topire*
- *Sudarea metalelor. Analiza metalografică a îmbinărilor sudate prin presiune*

34. STAS 11961/1 - 83
 35. STAS R 8542 - 79
 36. STAS 6967 - 88
 37. STAS 7324 - 75
 38. STAS 10782 - 76
 39. SR EN 10002/1
 40. SR En 10002/5
 41. STAS 2172 - 84
 42. STAS 8068 - 85
 43. STAS 9760 - 84
 44. SR EN 10045/1:93
 45. STAS 7511 - 81
 46. STAS 6774 - 79
 47. STAS R 10025 - 85
 48. STAS 10026 - 85
 49. STAS 165 - 83
 50. STAS R 883 - 85
 51. STAS 7925 - 84
 52. SR ISO 3058 - 1993
 53. STAS 5878 - 85
 54. STAS ISO 8491 - 1992
 55. STAS ISO 8492 - 1992
 56. STAS ISO 8493 - 1992
 57. STAS ISO 8494 - 1992
 58. STAS 9684 - 82
 59. STAS 5540/4 - 86
- *Metalografie. Metode de punere în evidență și apreciere a macrostructurii oțelurilor*
 - *Alegerea oțelurilor pentru construcții metalice*
 - *Încercările mecanice ale metalelor*
 - *Luarea probelor din oțel pentru încercări mecanice*
 - *Luarea probelor din țevi pentru încercări mecanice*
 - *Încercarea la tracțiune. Partea 1: Metodă de încercare (la temperatură ambiantă)*
 - *Încercare la tracțiune. Partea 5: Metoda de încercare la temperatură ridicată*
 - *Încercarea la tracțiune a cablurilor de oțel*
 - *Metodologia de determinare a caracteristicilor garantate de marcă privind încercarea mecanică la tracțiune a metalelor*
 - *Încercarea metalelor. Determinarea tenacității la rupere în condițiile stării plane de deformare. Metoda KIC*
 - *Materiale metalice. Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruveta Charpy. Partea 1: Metoda de încercare*
 - *Încercarea de încovoiere prin șoc pe epruvete cu creștătură în V*
 - *Încercarea de încovoiere prin șoc după îmbătrânire artificială*
 - *Tabel comparativ al rezilienței și al energiei de rupere*
 - *Determinarea cristalinității și fibrozității rupturii*
 - *Încercarea de duritate Brinell*
 - *Tabele comparative ale durității*
 - *Așezarea probelor la încercările de duritate*
 - *Mijloace de examinare vizuală. Alegerea lupelor cu grosiment mic*
 - *Încercarea la oboseală prin încovoiere rotativă*
 - *Țevi. Încercarea la îndoire a tronsonului*
 - *Țevi. Încercarea la aplatizare*
 - *Țevi. Încercarea la lărgire*
 - *Țevi. Încercarea la răsfrângere*
 - *Coroziunea metalelor. Metode de încercare și apreciere a comportării la coroziune*
 - *Încercări ale îmbinărilor sudate cap la cap*

- | | |
|----------------------|--|
| 60. STAS 5976/1 - 85 | - Încercări mecanice ale îmbinărilor sudate de colț |
| 61. STAS 10888 - 85 | - Încercări ale îmbinărilor din table subțiri sudate în colț |
| 62. STAS 7932/2 - 90 | - Încercările mecanice ale îmbinărilor sudate în puncte și în relief ale metalelor |
| 63. STAS 5540/2 - 85 | - Încercări mecanice ale îmbinărilor sudate cap la cap |
| 64. STAS 9552 - 87 | - Defectoscopie ultrasonică. Examinarea îmbinărilor sudate prin topire |
| 65. STAS 6606/2 - 86 | - Defectoscopie cu radiații penetrante. Examinarea radiografică a îmbinărilor sudate prin topire |
| 66. STAS 12506 - 86 | - Defectoscopie ultrasonică. Metode de apreciere a mărimii discontinuităților |
| 67. STAS 12851 - 90 | - Defectoscopie cu radiații penetrante. Metoda de caracterizare a perceptibilității vizuale a radiografiilor |
| 68. STAS 10214 - 84 | - Defectoscopie cu lichide penetrante |
| 69. STAS 10041 - 90 | - Defectoscopie cu lichide penetrante. Terminologie |